



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“DISEÑO DE UN CRUDO QUE PERMITA LA
UTILIZACIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS COMO
COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN LA EMPRESA
CEMENTO CHIMBORAZO”**

Tesis de grado previa a la obtención del título de

INGENIERO QUÍMICO

RAÚL MARCELO CARRERA CABEZAS

Riobamba 2013

AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios, porque es él que
permite a través de sus bendiciones hacer
realidad muchas metas que los humanos
nos planteamos en la vida, a la*

EMPRESA

CEMENTO

CHIMBORAZO por brindarme todas las
facilidades para realizar este trabajo, a
mis Padres, hermanos y Maestros

DEDICATORIA

El esfuerzo, la perseverancia y la valentía de empezar un reto, se plasma reflejado en un resultado que hoy se torna retribuido en esta alegría, dedico este trabajo a mis padres y hermanos por su apoyo y confianza.

	Firma	Fecha
Dr. Silvio Alvares Luna		
Decano de la Facultad de Ciencias	-----	-----
Ing. Mario Villacrés		
Director de Escuela de Ingeniería Química	-----	-----
Ing. Cesar Avalos.		
Director de Tesis	-----	-----
Ing. Hugo calderón		
Miembro del Tribunal	-----	-----
Ing. Aida Granja		
Miembro del Tribunal	-----	-----
Lic. Carlos Rodríguez		
Director del Centro de Documentación	-----	-----
NOTA DE TESIS	-----	

Yo, Raúl Marcelo Carrera Cabezas, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el presente trabajo de investigación y, los derechos de autoría pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

C ₃ S	Silicato tricálcico o alita
C ₂ S	Silicato dicálcico o belita
C ₃ A	Aluminato tricálcico
C ₄ AF	Ferro Aluminato tetracálcico
°C	Grados centígrados
CLH	Clínker que sale del horno
cm	Centímetros
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
kg	Kilogramo
MA	Módulo de aluminio
MH	Módulo hidráulico
MS	Módulo de silicio
SC	Saturación de cal
Mpa	Mega Pascal
μm	Micrómetros
σ	Desviación estándar
TM/h	Toneladas métricas por hora
R	Residuo Insoluble en %
Pxc	Pérdida por calcinación, en g
CaO	Oxido de calcio
SiO ₂	Oxido de silicio

Al_2O_3

Oxido de aluminio

Fe_2O_3

Óxido de hierro

Tabla de contenido

CAPITULO I

1	PARTE TEÓRICA	23
1.1	CEMENTO	23
1.1.1	DEFINICIÓN.....	23
1.1.2	TIPOS DE CEMENTO.....	23
1.2	MATERIA PRIMA.....	24
1.2.1	COMPONENTES CALCAREOS	24
1.2.2	COMPONENTES ARCILLOSOS	25
1.2.3	LOS CORRECTIVOS	25
1.2.4	ADITIVOS.....	25
1.2.5	CONTROL DE CALIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO	26
1.2.6	MÓDULOS DEL CEMENTO.....	28
1.3	CLINKER	29
1.3.1	PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CLÍNKER	30
1.3.2	Procesos Químicos, Mineralógicos y Físicos en la Clinkerizacion.....	31
1.3.3	HORNO DE CLINKERIZACIÓN	33
1.3.4	COMPONENTES MINERALOGICOS DEL CLINKER.....	34
1.3.5	COMPOSICIÓN POTENCIAL DEL CLÍNKER.....	37
1.4	Los combustibles alternativos para la fabricación del cemento.	45
1.4.1	Combustibles alternativos.....	45
1.4.2	Características del neumático como combustible alternativo	46
1.5	Análisis de los efectos medioambientales en la producción de cemento.....	52
1.5.1	Consumo de energía.....	52
1.5.2	Emisiones del horno.....	52
1.6	El uso de los neumáticos desechados como combustible en una fábrica de cemento.54	
1.6.1	Características medioambientales y efectos sobre el cemento	54
1.6.2	Emisiones del horno debidas a la combustión de neumáticos desechados.	55

1.7	La tecnología adecuada para la quema de neumáticos.....	59
-----	---	----

CAPITULO II

2	Parte experimental	61
2.1	Muestreo.....	61
2.1.1	Muestreo para neumáticos.	61
2.1.2	Muestreo de crudo horno	61
2.2	Obtención de cenizas de neumáticos.....	61
2.3	Método de laboratorio de cocción para elaboración de Clinker.	62
2.3.1	Preparación del crudo para el quemado	62
2.3.2	Proceso de cocitura	62
2.3.3	Proceso de calcinación.....	62
2.3.4	Proceso de quemado.	62
2.3.5	Evaluación de la cocción	62
2.4	Análisis de laboratorio	63
2.4.1	Análisis químico de materia prima y Clinker	63
2.4.2	Determinación de Cal Libre (Método Complejo métrico).....	63
2.4.3	Determinación de Residuo Insoluble	64
2.4.4	Determinación de Pérdida por Calcinación	65
2.4.5	Análisis microscópico del Clinker	66
2.5	Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.....	69
2.5.1	Procedimiento	69
2.5.2	Dosificación, consistencia y mezclado de los morteros	69
2.5.3	Moldeo de cubos de ensayo	71
2.5.4	Almacenamiento de los cubos de ensayo	72

CAPITULO III

3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
3.1	Resultados	73
3.1.1	Caracterización de neumáticos usados	73
3.1.2	Dosificación de cenizas de neumáticos usados.....	75
3.1.3	ANALISIS QUIMICO, CUALITATIVO E INTERPRETATIVO DEL CLINKER OBTENIDO.....	80
3.1.4	Resistencia (Mpa) a la compresión de morteros a 1, 3, 7, 28 días para las dosificaciones planteadas.....	87
3.2	Discusión de Resultados	89

CAPITULO IV

4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
4.1	CONCLUSIONES	91
4.2	RECOMENDACIONES	93

BIBLIOGRAFÍA.....	101
--------------------------	------------

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Tipos de cemento	23
Tabla 1-2 Pruebas químicas y físicas de materias primas y productos en proceso	26
Tabla 1-3 Requisitos físico-químicos de los cementos hidráulicos compuestos.....	27
Tabla 1-4 Transformaciones químicas en la clinkerización.....	32
Tabla 1-5 Componentes mineralógicos del clínker.....	34
Tabla 1-6 Composición química aproximada de clínker.....	37
Tabla 1-7. Composición y características de los diferentes tipos de neumáticos.....	46
Tabla 1-8. Análisis químico del neumático.....	47
Tabla 1-9. Análisis mineral de la ceniza de neumático. (Porcentaje en peso).....	48
Tabla 1-10 Poderes caloríficos de diferentes combustibles.....	50
Tabla 1-11 Composición de los gases en las emisiones del horno cementero.....	52
Tabla 2-1 Paños de Pulido.....	66
Tabla 2-2 Reactivos de ataque.....	68
Tabla 2-3 Cantidades de materiales para elaboración de morteros.....	70
Tabla 3-1 Potencial energético de los neumáticos desechados de la ciudad de Riobamba.....	73
Tabla 3-2 Análisis químico de cenizas de neumático usado.....	75
Tabla 3-3 Composición química de materias primas.....	76
Tabla 3-4 Símbolos para el cálculo de los componentes del crudo.....	77
Tabla 3-5 Dosificación de crudo partir de SC de 0,92 y MS de 2,5.....	79
Tabla 3-6 Dosificación de crudo partir de SC de 0,90 y MS de 2,4.....	79
Tabla 3-7 Análisis químico de Clinker dosificado con 1% de cenizas.....	81

Tabla 3-8	Análisis químico de Clinker dosificado con 2% de cenizas.....	82
Tabla 3-9	Análisis químico de Clinker dosificado con 3% de cenizas.....	83
Tabla 3-10	Análisis cualitativo e interpretativo de Clinker dosificado con 1% de cenizas.....	84
Tabla 3-11	Análisis cualitativo e interpretativo de Clinker dosificado con 2% de cenizas.....	85
Tabla 3-12	Análisis cualitativo e interpretativo de Clinker dosificado con 3% de cenizas.....	86
Tabla 3-13	Dosificación de Materias Primas para la elaboración de cemento.....	
¡Error! Marcador no definido.		
Tabla 1-14	Resistencias a la compresión en Mpa para las distintas dosificaciones.....	92

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1-1 Diagrama de obtención de clínker	30
Fig. 1-2 Esquema de un horno.....	33
Fig. 1-3 Cristales Euhedrales.....	39
Fig. 1-4 Cristales Suhedrales	39
Fig. 1-5 Cristales Anhedrales	39
Fig. 1-6 Hábito tabular.....	39
Fig. 1-7 Hábito prismático.....	40
Fig. 1-8 Hábito dendrítico	40
Fig. 1-9 Hábito redondeado a subredondeado	40
Fig. 1-10 Cristales euhedrales de alita de contornos hexagonales	42
Fig. 1-11 Cristales de belita con estriado tipo B de Tabascí. Algunos cristales de alita están zonados	43
Fig. 1-12 Belita secundaria formada por corrosión de alita. Los cristales presentan formas ameboides, también llamadas “dedos de guante”	43
Fig. 1-13 Cristales de ferrito (F) y aluminato (A) de notable desarrollo debido a un enfriamiento muy lento del clínker. Obsérvese la presencia de belita secundaria rodeando la alita.....	44
Fig. 1-14 Nido compacto de cal libre primaria (colores más claros), defectos de molturación del crudo	45
Fig. 3-1 Resistencias a la compresión en Mpa a 1, 3, 7, 28 días	88

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I FORMULARIO PARA CEMENTOS	97
ANEXO II FORMULARIO PARA CEMENTOS	98
ANEXO III INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_3S O ALITA	99
ANEXO IV INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_3S O ALITA	100
ANEXO V INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_3S O ALITA	101
ANEXO VI INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_3S O ALITA	102
ANEXO VII INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_3S O ALITA	103
ANEXO VIII INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_3S O ALITA	104
ANEXO IX INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_2S O BELITA	105
ANEXO X INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_2S O BELITA	106
ANEXO XI INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_2S O BELITA	107
ANEXO XII INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_2S O BELITA	108
ANEXO XIII INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_2S O BELITA	109
ANEXO XIV INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C_2S O BELITA	110
ANEXO XV MICROSCOPIA DE CLINKER DOSIFICADO CON EL 1 % DE CENIZAS RESOLUCIÓN 20X	111
ANEXO XVI MICROSCOPIA DE CLINKER DOSIFICADO CON EL 2 % DE CENIZAS RESOLUCIÓN 20X	112
ANEXO XVII MICROSCOPIA DE CLINKER DOSIFICADO CON EL 3 % DE CENIZAS RESOLUCIÓN 20X	113
ANEXO XVIII ESQUEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO	114

ANEXO XIX	REPORTE EMNSUAL CALIZA MOLINO	115
ANEXO XX	REPORTE MENSUAL ARCILLA MOLINO	116
ANEXO XXI	REPORTE MENSUAL CRUDO HORNO	117
ANEXO II	REPORTE MENSUAL PUZOLANA MOLINO.....	125
ANEXO III	REPORTE MENSUAL YESOMOLINO.....	126
ANEXO IIII	NTE INEN 490	127

RESUMEN

Diseñar un crudo (mezcla caliza y arcilla) que permita la utilización de neumáticos usados como combustible alternativo en la Empresa Cemento Chimborazo C.A.

El método analítico empleado se basó en la caracterización de neumático mediante un análisis complexométrico para determinar los componentes minerales principales presentes en el neumático. Se determinó a partir de un método experimental, que la dosificación de crudo y cenizas de neumáticos mediante el cálculo de diseño a partir de sus módulos hidráulicos no fue el adecuado ya que no cumple con las expectativas requeridas por la empresa por lo tanto la dosificación planteada es 99%, 98%, 97% de crudo y 1%, 2%, 3% de cenizas de neumáticos respectivamente. El método utilizado para la elaboración de Clinker fue evaluado mediante un análisis de microscopia. El proyecto se realizó en laboratorio de control de calidad de la empresa, utilizando materiales como: espectrómetro de rayos X, equipo de microscopia, prensa, molino de bolas.

Según el análisis químico para el cemento obtenido con el 1% de cenizas se obtuvo valores de cal libre de 1.00, módulos de SC de 92.2, MS de 2.80 y MA de 1.73 además una relación de álcalis de 0.56. Datos que se encuentran dentro de la norma interna de la empresa.

Se concluyó que la dosificación óptima es la que contienen el 1% de cenizas de neumáticos usados y 99% de crudo.

Se recomienda incorporar el 1 de neumáticos usados al horno ya que un incremento en este podría causar efectos negativos en el proceso de clinkerización.

SUMMARY

To design a crude oil mixing limestone and clay that allows the usage tires as an alternative fuel. It has been developed at Company Cemento Chimborazo C.A.

The method applied for this research was the analytic method. It was based on the characterization of a tire through a complex metric analysis. This analysis is important because it determines the main minerals that a tire contains. Furthermore, it was determined through an experimental method that the dosage of oil and the ash of the tires there inadequate because the designed calculation from its hydraulic modules do not accomplish with the required expectations of de company. therefore, the proposed dosage is 99%, 98%, 97% of crude oil and 1%, 2%, 3% ash of tires respectively. The method used for the clinker manufactured process was evaluated through a microscopy analysis. The project was developed in a quality control laboratory at the company. The materials used in this project are: X ray spectrometer, electronic microscopy, press and ball mill.

According to chemical analysis the cement obtained with 1% ash free lime values of 1.00, 92.2 SC modules, MS of 2.80 and 1.73 MA also a ratio of 0.56 alkalis. These data are within the internal company policy.

It was concluded that the optimal dosage is containing 1% ash of used tires and 99% the crude oil.

It is recommended to add 1% of used tires in the oven as this would an increase in the negative effects in the clinkering process.

INTRODUCCION

La industria cementera es muy vulnerable a las variaciones del precio de los combustibles, pues constituyen el principal factor de costo (30% del costo total de la producción). Por ello, los productores de cemento han dedicado un esfuerzo permanente a la mejora de la eficiencia energética. El costo que requiere la implementación de una fábrica de cemento equivale a los ingresos de ventas de 3 años, lo que sitúa a la industria de cemento entre las más caras, exigiendo largos periodos para la recuperación de las inversiones y una cuidadosa planificación de las modificaciones en las plantas.

Debido a las reacciones químicas irreversibles a las que es sometido el caucho durante el proceso de vulcanización, no es posible reciclar neumáticos desechados para ser reutilizados en la fabricación de neumáticos nuevos. Esta es la principal causa por la cual miles de toneladas de neumáticos son almacenadas anualmente en vertederos municipales o en vertederos ilegales. En nuestro país no existe aún una política clara en orden a establecer un mecanismo que permita tratar el problema. Esto, junto con el hecho de que no existen alternativas económicamente rentables de reutilización, como por ejemplo un mercado para productos derivados del caucho, tales como pisos y superficies o adiciones de goma para mejorar el asfalto en carreteras (lo cual podría eventualmente ser una solución a esta problemática) hacen que el problema persista en el tiempo.

En la búsqueda por una mayor competitividad comercial, la industria mundial del Cemento está quemando residuos como combustible alternativo en sus hornos, buscando reducir el costo de los combustibles tradicionales. Esta estrategia ha posibilitado la generación de empresas proveedoras que han hecho del reaprovechamiento energético de residuos un gran negocio, el que ha encontrado, además, la aceptación de las autoridades medioambientales con el argumento de que el reaprovechamiento energético de residuos combustibles es ecológico porque ahorra combustibles fósiles y recursos naturales.

La calcinación de las materias primas para fabricar el clínker (elemento fundamental en la producción del cemento) la cual se lleva a cabo al interior de hornos rotatorios, es el núcleo

fundamental del proceso dentro de las plantas cementeras; el cual requiere de una gran cantidad de energía, suministrada por el combustible, que se inyecta al horno, y representa el mayor costo económico en la fabricación del cemento. Las altas temperaturas en los hornos y largos tiempos de residencia inherentes al proceso de fabricación del cemento, suponen un alto potencial para la destrucción de compuestos orgánicos, lo que posibilita la utilización de una amplia variedad de combustibles, subproductos de otros procesos industriales o derivados de residuos, tanto líquidos (aceites usados, solventes, residuos de destilación, etc.) como sólidos (neumáticos usados, residuos de madera, papel, cartón, plástico, lodos urbanos e industriales, etc.).

JUSTIFICACIÓN

La industria cementera ha adoptado la incineración de diversos residuos, tanto líquidos como sólidos, en sus hornos. Esta práctica ha recibido el visto bueno de las autoridades ambientales de diversos países. La “valorización energética”, que podría servir tanto como alternativa ecológica a la dependencia continua de combustibles fósiles, como mecanismo idóneo para la eliminación de una amplísima gama de residuos no biodegradables, en particular de neumáticos desechados, puede convertirse en un negocio rentable tanto para proveedores como para las plantas cementeras.

En diversos proyectos llevados se demuestra estar particularmente preocupada por la disponibilidad de suministros continuos de neumáticos en cantidades suficientes y a precios razonables. Por lo general las empresas de cemento no desean involucrarse en la recolección de neumáticos, prefiriendo externalizar este servicio a un proveedor responsable de su recolección y entrega.

Los neumáticos al presentar características relevantes se considera aprovechar este nicho de mercado inexplorado hasta la fecha en la parte central del país, ya que el uso de neumáticos usados da un aporte mineral y calórico a las vez, por lo que abastecer a la industria cementera de un combustible alternativo de bajo costo, es rentable para la economía de la empresa. Es por esto, que las plantas cementeras reúnen las condiciones necesarias para llevar a cabo una quema limpia de neumáticos desechados y aprovechar así su alto contenido calórico en reemplazo del petróleo o carbón por lo que es indispensable un análisis del impacto que conlleva esta alternativa al Clinker que se va a producir.

ANTECEDENTES

La Empresa Cemento Chimborazo C.A. produce **CementoPórtland Puzolánico 1P**, el cual satisface ampliamente las especificaciones de las Normas Técnicas: La Ecuatoriana **NTE INEN 490: 2010** , además de ser una organización técnica, moderna y confiable, por la calidad de productos y servicios que ofrece, preocupándose por la protección del medio ambiente y su contribución efectiva al desarrollo del país. La Empresa Cemento Chimborazo se encuentra ubicada en la parroquia rural de San Juan del cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo, km. 14 vía a la Costa.

El no reciclar neumáticos desechados es la principal causa por la cual miles de toneladas de neumáticos son almacenadas anualmente en vertederos municipales o en vertederos ilegales. El problema no es menor, pues recientes estudios en materia de descomposición de materiales indican que los neumáticos, además de no ser biodegradables, afectarían el proceso de la basura, que sí lo es, y por este motivo están siendo rechazados en los vertederos. En nuestro país no existe aún una política clara en orden a establecer un mecanismo que permita tratar el problema.

Siguiendo el ejemplo de otras naciones, más avanzadas en el tema, comenzamos a vislumbrar las ventajas del reaprovechamiento energético de desechos como una alternativa rentable de sustitución de los combustibles tradicionales, lo que a su vez se traducirá en una mejor calidad de vida y reducción de desechos, convirtiéndolos en materias primas para otros procesos.

Esta estrategia ha posibilitado la generación de empresas proveedoras que han hecho del reaprovechamiento energético de residuos un gran negocio, el que ha encontrado, además, la aceptación de las autoridades medioambientales con el argumento de que el reaprovechamiento energético de residuos combustibles es ecológico porque ahorra combustibles fósiles y recursos naturales.

OBJETIVOS

GENERAL

- ✓ Diseñar un crudo que permita la utilización de neumáticos usados como combustible alternativo en la Empresa Pública Cemento Chimborazo.

ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar los neumáticos usados.
- ✓ Dosificar la cantidad de neumáticos usados para su incorporación.
- ✓ Determinar el impacto de las cenizas procedentes de los neumáticos usados al clinker, a fin de diseñar un crudo con la composición adecuada.
- ✓ Determinar la calidad de cemento que se obtiene al adicionar neumático usado, realizando los ensayos físicos y químicos para el cemento tipo 1p.

CAPITULO I

1 PARTE TEÓRICA

1.1 CEMENTO

1.1.1 DEFINICIÓN

Es un conglomerante hidráulico para mortero y hormigón, finamente molido, constituido esencialmente por compuestos de óxido de calcio con óxidos de silicio, aluminio y hierro, obtenidos por sinterización o fusión. El cemento amasado con agua endurece tanto al aire como bajo agua, en la cual mantiene su resistencia; debe ser estable y alcanzar una resistencia mínima a compresión a 25 N/mm^2 a 28 días.”

1.1.2 TIPOS DE CEMENTO

Tabla 1-1

Tipos de cemento

Cemento	Características
<i>Aluminoso</i>	Se obtiene de la molienda de clínker aluminoso con la posible adición de otros materiales adecuados.
<i>Albañilería</i>	Se obtiene por la pulverización conjunta de clínkerPórtland y materiales que, aún careciendo de propiedades hidráulicas y puzolánicas, mejoran la plasticidad y la retención de agua, tienen alta trabajabilidad y endurecimiento.
<i>Hidráulico</i>	Es un cemento que fragua y endurece por interacción química con el agua y que también es capaz de hacerlo bajo el agua.
<i>Natural</i>	Es un cemento hidráulico, obtenido de caliza arcillosa natural, calcinada hasta una temperatura bajo el punto de sinterización y finamente molido.

<i>Hidráulicos Compuestos</i>	Se obtiene de la pulverización conjunta o mezcla íntima y uniforme de cemento Pórtland con escoria o puzolana o ambas
<i>Hidráulicos Compuestos Pórtland</i>	Se obtiene por la pulverización de clínkerPórtland, con la posible adición durante la molienda de una o más de las formas de sulfato de calcio y/u otros materiales adecuados en proporciones que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto.
<i>Pórtlandpuzolánico</i>	Consiste en una mezcla íntima y uniforme de cemento pórtland y puzolana fina, producida sea por molienda de clínker de cemento pórtland y puzolana, finamente dividida, en la cual el constituyente puzolana está entre el 15 y el 40% en masa del cemento pórtlandpuzolánico.
<i>Pórtlandpuzolánicomodificado</i>	Consiste en una mezcla íntima y uniforme de cemento pórtland y puzolana fina, producida sea por molienda de clínker de cemento pórtland y puzolana, finamente dividida, en la cual el constituyente puzolana es menor que el 15% en masa del cemento pórtlandpuzolánico modificado.

1.2 MATERIA PRIMA

Los cuatro principales componentes que intervienen en la fabricación del cemento: cal, sílice, alúmina y óxidos de hierro, son los más abundantes en la corteza terrestre. Estos compuestos aparecen en muchos minerales. Para la fabricación del cemento se debe seleccionar los más adecuados, que son: Componentes calcáreos, componentes arcillosos, los correctivos y los aditivos.

1.2.1 COMPONENTES CALCAREOS

Son rocas que contienen más del 75% de carbonato de calcio. Normalmente se utilizan como componentes calcáreos los siguientes materiales:

- ✓ Caliza pura más del 95 % de CaCO_3
- ✓ Caliza Margosa 85-95 % CaCO_3
- ✓ Greda 70 -85 % CaCO_3

Para la fabricación del cemento se prefiere una caliza con un contenido de 80 – 85 % de carbonato de calcio, a una caliza de alto grado (90-95 %). La primera es más fácil de moler y homogenizar ya que contiene marga dispersa en la caliza, y requiere menos material arcilloso para formar la mezcla cruda del cemento.

1.2.2 COMPONENTES ARCILLOSOS

Los componentes arcillosos consisten en minerales que contienen sílice (SiO_2), hierro (Fe_2O_3) y aluminio (Al_2O_3).

1.2.3 LOS CORRECTIVOS

Los correctivos son materiales de alta concentración de aquellos elementos de los cuales los componentes principales contienen una cantidad insuficiente. Estos materiales pueden ser:

- ✓ Caliza de alto grado (para CaO)
- ✓ Cuarzo (para SiO_2)
- ✓ Bauxita (para Al_2O_3)
- ✓ Arena ferrosa (para Fe_2O_3)

1.2.4 ADITIVOS

- ✓ A fin de regular el tiempo de fraguado del cemento, se agrega yeso al clinker en la etapa de molienda.
- ✓ Si al clinker de cemento Portland, se le agrega puzolanas naturales, se obtiene el cemento especial o puzolánico, que puede contener hasta un 30% de puzolana

1.2.5 CONTROL DE CALIDAD EN LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO

Control de Calidad es el proceso de regulación a través del cual medimos la calidad real del cemento cuyos resultados comparamos con las Normas Internas de la Empresa, así como: Normas nacionales e internacionales como son el INEN y la ASTM respectivamente, las que especifican las características físicas y químicas que deben tener los cementos producidos, para posteriormente basados en los resultados y la experiencia, actuar sobre la diferencia obtenida entre la calidad y lo establecido por las normas.

En la Empresa Cemento Chimborazo, el concepto y la aplicación de control de calidad revisten gran importancia, puesto que un control deficiente acarrearía grandes pérdidas económicas e inconformidad en el cliente y como consecuencia una reducción en la demanda del producto.

1.2.5.1 Requerimientos y Normas de Calidad Para Elaborar Cemento

La Empresa Cemento Chimborazo C. A. produce **Cemento Pórtland Puzolánico 1P** el cual satisface ampliamente las especificaciones de las Normas Técnicas: La Ecuatoriana **NTE INEN 490: 2003** tercera revisión y la Norma Norteamericana **ASTM C-595** para cemento IP, norma en la cual se establece las características y las especificaciones físicas y químicas del cemento, y su uso es para construcciones de hormigón en general.

Tabla 1-2

Pruebas químicas y físicas de materias primas y productos en proceso

	Caliza	Arcilla	Crudo	Clínker
	Perd. Fuego	Perd. Fuego	Perd. Fuego	Perd. Fuego
	Titulación	Al ₂ O ₃	Titulación	Cal libre

Análisis Químicos	CaCO ₃		CaCO ₃	
	Composición química total	Fe ₂ O ₃	Humedad	Mineralogía
		Humedad	Composición química total	Composición química total
		Composición química total		
Ensayos Físicos			Finura M:200	Peso litro

Tabla 1-3

Requisitos físico-químicos de los cementos hidráulicos compuestos

Tipo de Ensayo		Cemento Tipo I (PM)	Cemento Tipo I P	Norma NTE INEN 490
Ensayos Químicos				
Pérdida por Calcinación	(%)	1,0	1,3	5,0 Max
Óxido de Magnesio-MgO	(%)	1,1	0,9	6,0 Max
Trióxido de Azufre – SO ₃	(%)	1,1	1,2	4,0
Residuo Insoluble – RI	(%)	8,8	15,5	
Ensayos Físicos				
Finura				
Blaine	(cm ² /g)	3100	3550	
Retenido de malla No 325	(%)	23,5	6,5	
Tiempos de Fraguado				
Fraguado Inicial	(min)	135	150	
Fraguado Final	(min)	190	210	
Resistencia a ala Compresión				
1 día	Mpa	4,0	5,5	
3 días	Mpa	15,9	19,7	13 Mpa
14 días	Mpa	26,2	26,4	20 Mpa
28 días	Mpa	36,0	37,3	25 Mpa

Expansión en autoclave (%)		0,05	0,8 Max
Contenido de aire en mortero (%)		2,1	12 Max
Densidad (g/cm ³)		3,0	

Fuente: Norma Técnica NTE INEN 490: 2003

1.2.6 MÓDULOS DEL CEMENTO

Durante mucho tiempo el clinker de cemento Portland se fabricó a partir de la experiencia adquirida por cada fábrica sobre la marcha de la producción. Posteriormente, a partir de la composición química del clinker se trató de establecer relaciones entre los porcentajes de los cuatro óxidos mayoritarios (C, S, A, F), muchas de ellas empíricas, basadas en hipótesis más o menos próximas a la realidad. Tales relaciones se las denominó INDICES y MODULOS y han ido surgiendo, tanto de la observación de los procesos de fabricación del clinker como del enjuiciamiento de los resultados prácticos en la utilización del mismo.

1.2.6.1 Módulo de saturación de cal

El módulo de saturación de cal es un parámetro que nos fija el contenido óptimo de cal (en el crudo), para formar los componentes de tipo hidráulico (del clinker), sin que quede óxido de cal libre. Un contenido elevado de cal en el crudo permite que durante la cocción se formen las fases del clinker más ricas en cal, las cuales poseen las propiedades favorables, particularmente por lo que respecta al desarrollo de la resistencia del cemento, si bien es preciso que el contenido total de esa cal se encuentre combinado con los llamados factores hidráulicos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Si hubiera un exceso de cal no combinada en el clinker (es decir en forma de cal libre como CaO), esta podría dar lugar, por reacción del cemento con el agua, a daño de morteros u hormigones a causa de los fenómenos de expansión. Por lo tanto el contenido óptimo de cal debe ser alto pero no excesivo. El estándar de cal (F.S.C.) sirve precisamente para fijar el contenido óptimo de cal en el crudo y clinker. Así pues el contenido óptimo de cal corresponde a un F.S.C. de 100 dados por la fórmula:

$$\text{SC} = 100 (\text{CaO} + 0,75 \text{MgO}) / (2,80 \text{SiO}_2 + 1,18 \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,65 \text{Fe}_2\text{O}_3) \text{Ec. 1-1}$$

El estándar de cal de los clínkeres suele estar comprendido entre 90 y 102 siendo mayor de 97 los de muy alta calidad.

1.2.6.2 MÓDULO DE SÍLICE

La variación en los valores del módulo de silicatos causa la modificación de la fase líquida en el horno, alterando la facilidad de cocción y la exigencia de una mayor o menor temperatura. El valor del módulo de sílice se determina conforme a la práctica según la economía de quemado.

$$MS = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad \text{Ec. 1-2}$$

1.2.6.3 MÓDULO DE ALUMINA (FUNDENTES)

El módulo de fundente es un parámetro que nos fija la composición, cualitativa y cuantitativa de la fase fundida.

Cuando decrece el módulo de fundente se posibilita la disminución de la temperatura requerida para la formación del clínker; se obtiene mayor fase líquida y se reduce el costo del proceso. En cuanto a las características del clínker el incremento del módulo los hace más duros y difíciles de moler. Por el contrario valores bajos originan el incremento de C_3A debilitando la estabilidad química y acelerando la fragua de las pastas de cemento.

$$MA = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$$

Ec. 1-3

1.3 CLINKER

El clínker es un componente artificial, que resulta de la calcinación hasta sinterización (1450°C) de la dosificación de mezclas homogeneizadas de caliza y arcilla.

1.3.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL CLÍNKER

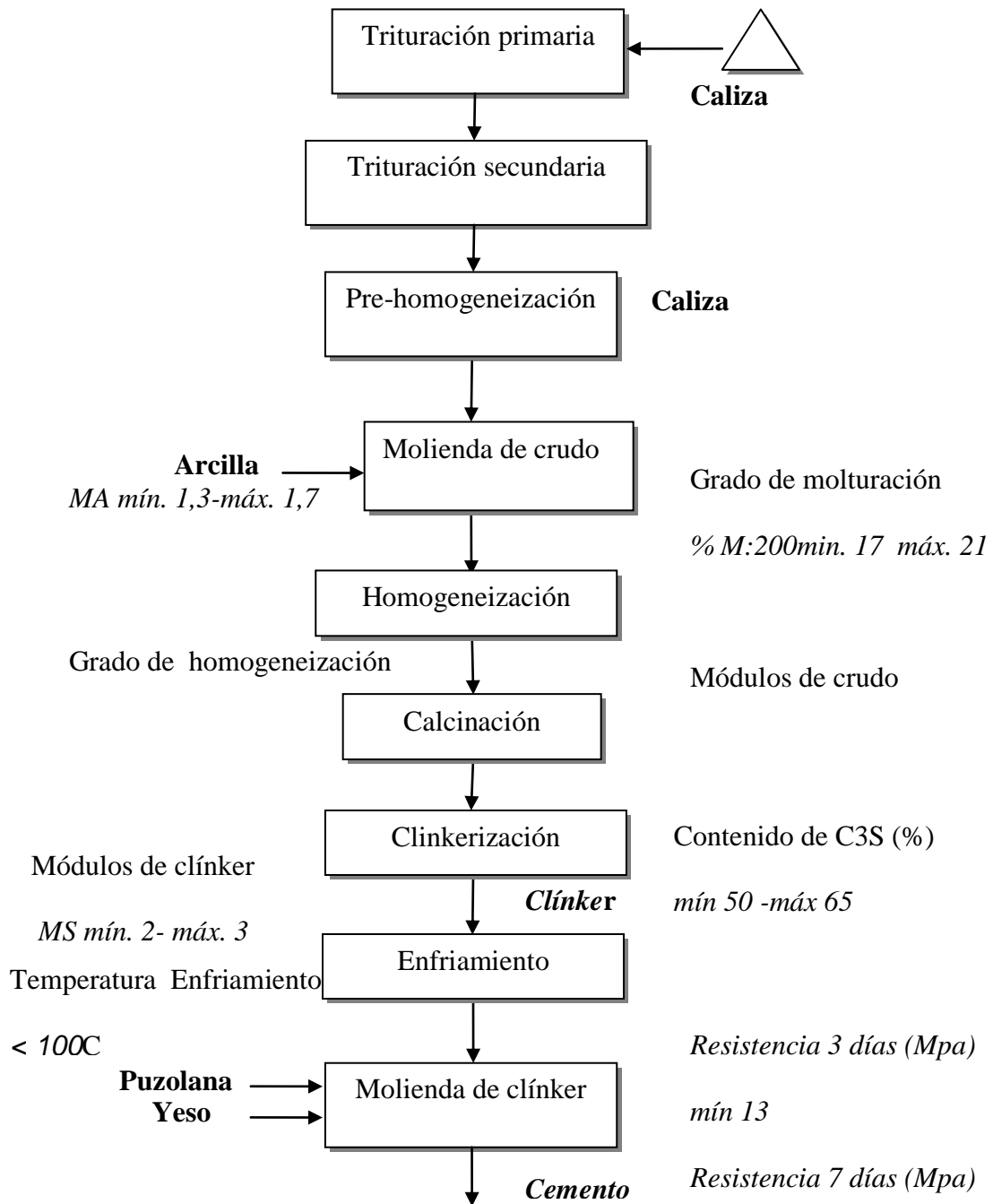


Fig. 1-1 Diagrama de obtención de clínker

1.3.2 Procesos Químicos, Mineralógicos y Físicos en la Clinkerizacion

Para fabricar clínker de cemento a partir de material crudo es preciso calcinar el crudo hasta una temperatura de 1450 °C, alcanzando así la clinkerización o sinterización.

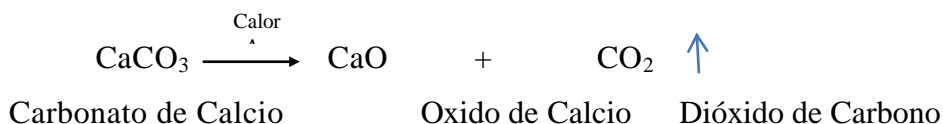
Durante el calentamiento del crudo y particularmente a la temperatura de cocción tienen lugar importantes procesos físico-químicos como:

La deshidratación de los minerales de la arcilla:

A temperaturas comprendidas entre 100°C y 200°C, aproximadamente, los minerales de las arcillas ceden su agua adsorbida, incluida el agua interlaminar, a temperaturas de 400 °C a 750 °C se desprende también el agua combinada químicamente.

La descomposición de los carbonatos:

El carbonato de calcio CaCO_3 contenido en el crudo en proporciones comprendidas entre 78% y 82% en masa, se descompone (disociación, descarbonatación, calcinación) a temperaturas teóricas iguales o superiores a 896°C según la ecuación:



Reacciones entre fase sólida (reacciones a temperaturas inferiores a la de sinterización o clinkerizacion): A temperaturas comprendidas entre 550 a 600° C comienza a producirse reacciones entre sólidos, por las cuales se combinan los productos de descomposición del CaCO_3 con los de la arcilla, formándose primero y preferentemente compuestos de menor contenido de cal. Las reacciones entre sólido transcurren en general muy lentamente.

Tabla 1-4

Transformaciones químicas en la clinkerización

Temperatura (°C)	Proceso y Transformación Química
< 200	Secado- Eliminación de agua libre
100...400	Eliminación del agua adsorbida
400..750	Descomposición de la arcilla con formación de metacaolinita $\rightarrow 2(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}_4(\text{OH})_8 \text{Si}_4\text{O}_{10}$
600...900	Descomposición de la metacaolinita y otros compuestos con formación de una mezcla de óxidos reactivos $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$
600...1000	Descomposición de la caliza con formación de CS y CA $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
	$3\text{CaO} + 2\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 2(\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
800...1300	Fijación de cal por CS y CA con formación de C ₄ AF $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CaO} \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ $2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{CaO} \rightarrow 3 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 4 \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
1250....1450	Nueva Fijación de cal por C ₂ S $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 + \text{CaO} \rightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$

Fuente: LABAHN/KOHLHAAS, "Prontuario del Cemento"

1.3.3 HORNO DE CLINKERIZACIÓN

Los hornos rotativos constan de un tubo cilíndrico dispuesto con una inclinación del 3 al 5% sobre la horizontal, que en su interior lleva un revestimiento de material refractario. El crudo se introduce por el extremo superior y el combustible se aplica al otro extremo, el inferior, es decir que estos hornos trabajan a contracorriente. El tubo descansa sobre dos o varios pares de rodillos, según su longitud (en cemento Chimborazo el horno 2 se asienta en 3 y el horno 1 en cinco). Estos están dispuestos bajo el horno de tal forma que las líneas que pasan por el eje del horno y los ejes de los rodillos forman con la vertical un ángulo de 30 grados. Su posición exacta se determina y se regula según los aros de rodamiento.

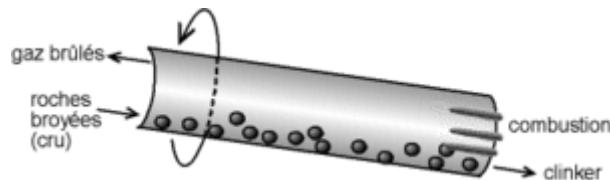


Fig. 1-2 *Esquema de un horno*

La relación entre los diámetros de los rodillos y de los aros de rodamiento es:

Para hornos grandes hasta $D = 1.4 * d$

Para hornos pequeños hasta $D = 3.5 * d$

Dónde: D = Diámetro del aro de rodamiento

d = Diámetro del rodillo

El ancho de los rodillos es de unos 40 a 80 mm mayor que el del aro de rodamiento.

El accionamiento mecánico del horno está situado hacia la mitad del horno, muy cerca del rodillo de retención. Está constituido por una corona dentada fijada al horno, accionada por un piñón y tren de engranajes. Generalmente está provisto u n accionamiento de emergencia para poder hacer girar el horno en el caso de falta de corriente eléctrica.

1.3.4 COMPONENTES MINERALOGICOS DEL CLINKER

El clinker del cemento portland puede considerarse como una roca artificial de origen eruptivo o ígneo, y por lo tanto, petrográficamente considerado, un conglomerado de elementos cristalinos y de fase vítrea por la consolidación del crudo, parcialmente fundido al estar sometido a altas temperaturas de clinkerización. Cuya formación se debe a un conjunto de reacciones en estado sólido con fusión parcial de los constituyentes durante la fusión, se origina un auténtico magma en cuyo seno tiene lugar la formación de compuestos cristalinos no fusibles, es decir los silicatos bicálcicos (C_2S) y tricálcicos (C_3S). Durante el enfriamiento de esta masa caliente la parte fundida va adquiriendo el estado cristalino, si el enfriamiento es muy lento.

Tabla 1-5

Componentes mineralógicos del clinker

<i>Mineral</i>	<i>Composición en fase pura</i>	<i>Designación Abreviada</i>	<i>% Clinker</i>
Silicato tricálcico <i>(Alita)</i>	$3CaO \cdot SiO_2$	C_3S	45-65
Silicato bicálcico <i>(Belita)</i>	$2CaO \cdot SiO_2$	C_2S	15-35
Aluminato tricálcico <i>(aluminato)</i>	$3 CaO \cdot Al_2O_3$	C_3A	4-14
Ferrito aluminato tetracálcico <i>(ferrito)</i>	$4CaO[Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3]$	$C_4 [A.F]$	6-12

Fuente: LABAHN/KOHLHAAS, "Prontuario del Cemento",

1.3.4.1 SILICATO TRICÁLCICO (C_3S)

También denominado Alita, es la fase principal en la mayoría de los clínkeres Portland, y se compone de 73,7% de cal y 26,3% de ácido silícico. Este compuesto presenta secciones prismáticas con contornos rectangulares o hexagonales bien formados, con dimensiones que varían según el grado de cristalización, aproximadamente 50 μm , siendo bien desarrollados cuando la cocción ha tenido lugar a temperatura suficientemente elevada y durante bastante tiempo, así como en presencia de una cantidad adecuada de fase líquida.

El silicato tricálcico contribuye de manera muy importante a las resistencias iniciales, siendo su velocidad de hidratación alta, así también desarrolla un alto calor de hidratación, se estima que su calor de hidratación completa en 120 cal/g.

Experimentalmente se ha comprobado que los concretos elaborados con cementos con mayor porcentaje de silicato tricálcico presentan una mejor acción a los ciclos de hielo y deshielo. Se recomienda su uso en zonas de climas fríos dado su alto calor de hidratación, sin embargo no en construcciones masivas por la baja estabilidad volumétrica que pueden producir.

1.3.4.2 SILICATO BICÁLCICO (C_2S)

También denominado Belita, es la segunda fase en importancia en el clínker, y se compone de 65,1% de cal y 34,9% de ácido silícico. Este compuesto presenta cristales relativamente anchos, de aproximadamente 30 μm , de contornos redondeados y tamaño variable. Presenta un polimorfismo denominado Alfa Prima; Beta y Gamma. En el clínker se encuentra estabilizada en la forma de Beta por la inclusión de iones extraños en la red cristalina. La forma Alfa que es estable a 1.420 °C, se transforma en Beta durante el proceso de enfriamiento dentro del horno.

El silicato bicálcico tiene una lenta velocidad de hidratación y desarrollo de calor bajo, 62 cal/gr, dada su lenta velocidad de endurecimiento, la contribución del silicato bicálcico a las resistencias iniciales es muy pequeña, siendo su efecto posterior la fuente principal de

resistencia. Su estabilidad química es bastante buena, por lo que el uso de cementos con alto contenido de silicato bicálcico para producir concretos resistentes al ataque de sulfatos es muy recomendable.

1.3.4.3 ALUMINATO TRICÁLCICO (C_3A)

El aluminato tricálcico se compone de 62,3% de cal y 37,7% de alúmina. Este compuesto presenta un color oscuro ante el examen microscópico del clínker, después de los álcalis, los aluminatos son los compuestos del cemento que primero reaccionan con el agua. Su fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy alta, hasta el punto de ser casi instantáneo, es por esta razón que la adición de sulfato de calcio se hace necesaria para controlar esta velocidad de hidratación.

El aluminato tricálcico contribuye en las resistencias durante las primeras horas, su calor de hidratación es muy elevado 207 cal/g.

Tanto la resistencia del concreto a ciclos de hielo y deshielo así como su resistencia al ataque de sulfatos tiende a disminuir conforme se incrementa el contenido de aluminato tricálcico en el cemento. El aluminato tricálcico es muy sensible a la acción de sulfatos y cloruros, debido a la formación de sales del tipo sulfoaluminatos y cloroaluminatos, la formación de estas sales es de carácter expansivo, pudiendo originar agrietamiento y desintegración del concreto. La forma de ataque es por reacción del sulfato de calcio con el hidroaluminatotricálcico resultante de la hidratación del aluminato tricálcico, favoreciendo la formación del llamado bacilo del cemento químicamente sulfoaluminato de calcio hidratado, este compuesto es la causa de las formas más peligrosas de corrosión del concreto. Se recomienda un contenido máximo de aluminato tricálcico es del orden de 7%.

1.3.4.4 FERROALUMINATO TETRACÁLCICO (C_4AF)

El ferroaluminatotetracálcico se compone de 46,1% de cal, 21% de alúmina y 32,9% de óxido de hierro. También es denominado Celita clara o Ferrito. Este compuesto presenta un

calor de hidratación de 100 cal/gr, y una alta estabilidad química, los cementos ricos en este compuesto tienen condiciones de empleo específicas en todos aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas

1.3.4.5 CAL LIBRE

La cal libre es un óxido de cal que se encuentra en el clínker sin combinarse con los componentes ácidos de las arcillas.

- ✓ **Cal libre primaria:** Es aquella que no ha estado nunca combinada y es debido a una mala dosificación del crudo o a una mala cocción del mismo.
- ✓ **Cal libre secundaria:** Es aquella que aparece al descomponerse el silicato tricálcico en silicato bicálcico y óxido de calcio debido a un mal enfriamiento del clínker

Tabla 1-6

Composición química aproximada de clínker

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	TiO_2
22,01	4,60	2,59	66,31	1,21	0,46	0,55	0,24	0,30

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

1.3.5 COMPOSICIÓN POTENCIAL DEL CLÍNKER

El método de Bogue es un proceso que nos permite conocer la composición potencial del clínker portland, a partir de los análisis químicos de los componentes del crudo y del conocimiento de los parámetros o módulos que han de caracterizar el clínker.

El método comete dos errores. Supone que la formación de los compuestos se realiza en equilibrio y que los componentes principales del clínker tienen composiciones exactas.

El método se basa en las siguientes hipótesis:

- ✓ En la clinkerización se forma todo el ferrito-aluminato tetracálcico posible, empleándose todo el óxido férrico o toda la alúmina, según que la relación alúmina / óxido férrico sea mayor o menor que 0,638 respectivamente.
- ✓ Si la relación alúmina / óxido férrico es mayor que 0,638 la alúmina restante forma aluminato tricálcico.
- ✓ Si la relación alúmina / óxido férrico es menor que 0,64, el óxido férrico restante forma ferrito bicálcico.
- ✓ La cal restante forma silicato bicálcico y tricálcico.
- ✓ Se considera que en primer lugar, se forma todo el silicato bicálcico posible.

$$C_3S = 4,71 \text{ CaO} - 7,602 \text{ SiO}_2 - 6,719 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,430 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \quad \text{Ec.1-5}$$

$$C_2S = 8,602 \text{ SiO}_2 + 5,068 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 1,079 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 3,07 \text{ CaO} \quad \text{Ec.1.6}$$

$$C_3A = 2,65 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 1,692 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \quad \text{Ec.1-7}$$

$$C_4A.F = 3,043 \text{ Fe}_2\text{O}_3 \quad \text{Ec.1-8}$$

1.4 MICROSCOPIA DEL CLÍNKER

1.4.1 ANÁLISIS TEXTURAL

La textura puede ser definida como el conjunto de relaciones intergranulares entre tamaño y forma de los cristales que forman una roca determinada. El clínker al ser considerado como una roca ígnea por su formación, los términos texturales usados serán análogos a los de éstos.

Dentro de las características texturales más importantes que son usadas dentro de la descripción microscópica del clínker se encuentran:

- ✓ Formas cristalinas
- ✓ Hábito
- ✓ Grado de cristalinidad

✓ Tamaño de grano

1.4.1.1 FORMAS CRISTALINAS

Se pueden encontrar tres diferentes tipos:

Cristales Euhedrales.- Son aquellos que presentan sus bordes cristalinos bien desarrollados.



Fig. 1-3*Cristales Euhedrales*

Cristales Suhedrales.- Son aquellos que tienen los bordes cristalinos parcialmente bien desarrollados.

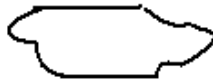


Fig. 1-4*Cristales Suhedrales*

Cristales Anhedrales.- Son aquellos que tienen las caras cristalinas totalmente irregulares.

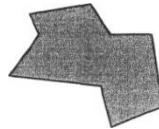


Fig. 1-5*Cristales Anhedrales*

1.4.1.2 HABITO CRISTALINO

Es la forma de ocurrencia de los cristales, para el caso del clínker encontrar los siguientes hábitos:

Hábito tabular.- Está formado por cristales planos (como tablas)



Fig. 1-6*Hábito tabular*

Hábito prismático.-Está formado por cristales prismáticos de diferentes formas como rectangulares, hexagonales, etc.

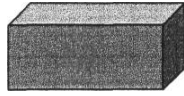


Fig. 1-7*Hábito prismático*

Hábito dendrítico.- Formado por cristales con bordes difusos (en forma de pelos)

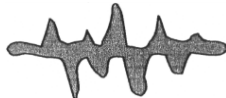


Fig. 1-8*Hábito dendrítico*

Hábito redondeado a subredondeado.-

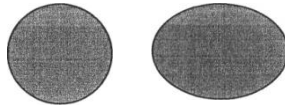


Fig. 1-9*Hábito redondeado a subredondeado*

1.4.1.3GRADO DE CRISTALINIDAD

Según el grado de cristalinidad el clínker se puede dividir en tres tipos:

Halocristalina.- Cuando está formada en su totalidad por cristales.

Halohialina.- Cuando está formada en su totalidad por vidrio.

Hipocristalina.- Cuando está formada tanto por cristales como por vidrio.

1.4.1.4TAMAÑO DE GRANO

Por el tamaño de grano las rocas ígneas se clasifican en:

Fanerítica.- Cuando los cristales se reconocen a simple vista.

Afanítica.- Cuando los cristales se reconocen solo con la ayuda del microscópico (clínker); dentro de este subgrupo tenemos: *Rocasmicro cristalinas* cuando se pueden reconocer con el

microscopio y *criptocristalina* cuando los cristales no se reconocen con el microscopio. Por ejemplo para el caso del clínker se puede decir que es una roca afanítica-microcristalina.

1.4.2 TEXTURAS DE LOS COMPONENTES MINERALES DEL CLÍNKER

1.4.2.1 ALITA (C_3S)

La Alita puede encontrarse en todas las formas cristalográficas, es decir, como cristales euhedrales, subhedrales y anhedrales.

El hábito puede ser tabular y prismático. El color de los cristales puede variar dependiendo del tipo de reactivo y tiempo de ataque, presentando colores desde café-claro, café-rojizo, hasta azul y amarillo-verdoso.

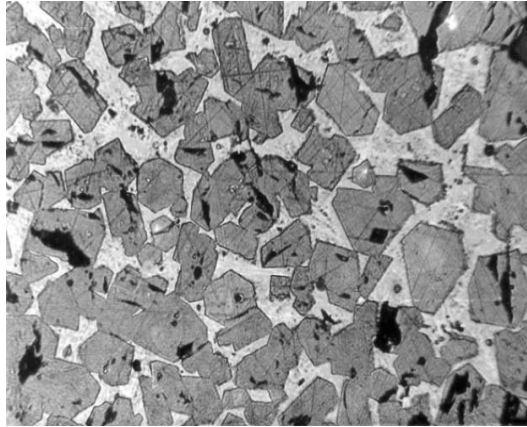
Los cristales pueden presentarse zonados, lo que se puede producir por dos causas: composición diferente dentro del mismo cristal o amplio rango de temperatura. Puede presentar bordes de alteración (descomposición), lo que dentro de la terminología del análisis microscópico se denomina *abrigos*.

Dentro del tamaño de grano existe un rango considerado como aceptable, y se encuentra entre 15 a 40 μm Ono, (1981) dividiéndolo en:

15 – 20 μm Excelente

20 – 30 μm Bueno

30 – 40 μm Regular



Tomado de Rodríguez Rey

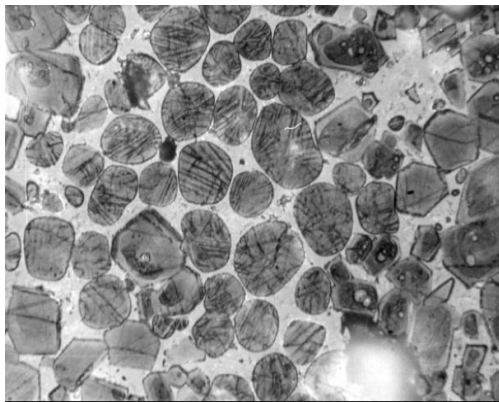
Fig. 1-10 *Cristales euhedrales de alita de contornos hexagonales*

También existen otros rangos de tamaño cristalino que se pueden considerar como aceptables, entre estos se encuentran los propuestos por Campbell (1986) y Gille et al (1965) los cuales están entre 20 – 65 μm .

1.4.2.2 BELITA (C_2S)

La Belita puede ser primaria o secundaria, la primaria es la formada durante el proceso de calentamiento y cocción, mientras que la secundaria se forma durante el enfriamiento del clínker dentro del horno y se forma por descomposición de los cristales de alita.

Las formas cristalográficas de la Belita no se encuentran bien definidas. El hábito puede ser redondeado a subredondeado. La superficie cristalina puede encontrarse lisa (Belita α), pero en clínkeres portland normales se observa la superficie doblemente estriadas y con maclas polisintéticas en series dobles (Belita α y β), así también se puede encontrar la superficie muy fracturada y rota (Belita γ)



Tomado de Rodríguez Rey

Fig. 1-11 Cristales de belita con estriado tipo B de Tabasco. Algunos cristales de alita están zonados

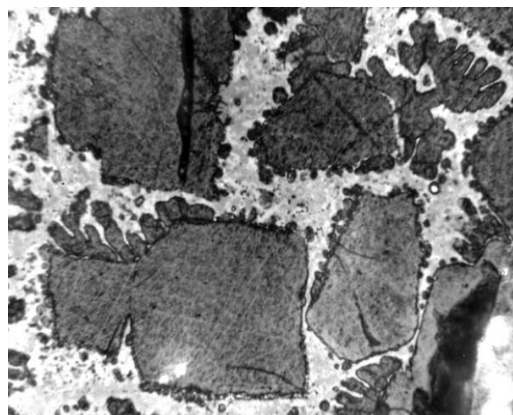
El color de los cristales varía de acuerdo al reactivo y tiempo de ataque, de ésta manera se pueden encontrar colores desde café claro hasta azul con diferentes tonos.

Con respecto al tamaño cristalino que debe ser considerado como el más adecuado, Ono, (1981) propone que debe ser:

15 – 20 μm Regular

20 – 30 μm Bueno

30 – 40 μm Excelente



Tomado de Rodríguez Rey

Fig. 1-12 Belita secundaria formada por corrosión de alita. Los cristales presentan formas ameboides, también llamadas “dedos de guante”

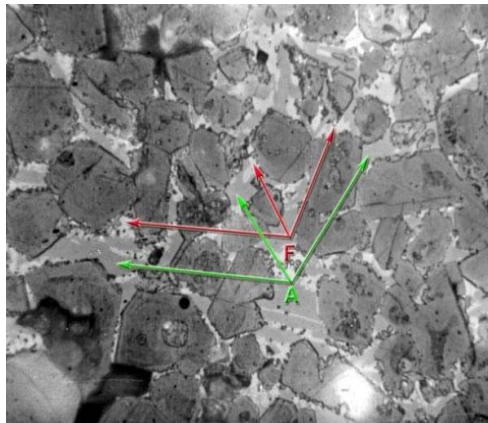
1.4.2.3 ALUMINATO CÁLCICO (C_3A)

Puede encontrarse en todas las formas cristalográficas: euhedral, suhedral y anhedral, habito tabular. El color de los cristales varía de acuerdo al ataque, así se pueden encontrar colores de café-claro o café-azulado. El tamaño cristalino adecuado debe ser $< 20 \mu m$.

1.4.2.4 FERRITOS (C_4AF)

Se pueden encontrar con formas cristalinas subhedrales y anhedrales. Habito tabular.

El color sin ataque generalmente es blanco. El tamaño cristalino adecuado debe ser $< 20 \mu m$.

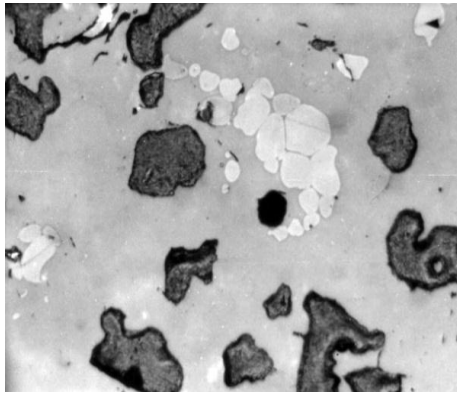


Tomado de Rodríguez Rey, 1986

Fig. 1-13 Cristales de ferrito (F) y aluminato (A) de notable desarrollo debido a un enfriamiento muy lento del clínker. Obsérvese la presencia de belita secundaria rodeando la alita

1.4.2.5 CAL LIBRE

Las formas, cristalográficas bajo observación microscópica no se encuentran bien definidos. Habito redondeado (como racimo de uvas).



Tomado de Rodríguez Rey, 1986

Fig. 1-14 Nido compacto de cal libre primaria (colores más claros), defectos de molturación del crudo

El color depende del ataque, así se pueden encontrar colores desde café-claro con un tono amarillento, hasta multicolor-brillante. El tamaño cristalino considerado como adecuado debe ser $< 15 \mu\text{m}$.

1.4.2.6 PERICLASA

Las formas cristalográficas encontradas pueden ser: euhedrales, subhedrales y anhedrales. Hábito prismático y masivo.

El color sin ataque es rosado pálido, mientras que con ataque es blanco. El tamaño cristalino considerado como adecuado debe ser $< 15 \mu\text{m}$.

1.4 Los combustibles alternativos para la fabricación del cemento.

1.4.1 Combustibles alternativos.

Los residuos usados como combustibles alternativos en los hornos de cemento comprenden residuos sólidos aparte de los neumáticos desechados y residuos líquidos tales como solventes, grasas, aceites usados, residuos de la refinación del petróleo y lodos de destilación, principalmente. Pueden sustituir, dependiendo de los límites técnicos y de su

homogeneidad, del 0 al 90% de la energía calorífica total requerida (se mantiene siempre un mínimo de 10% de combustible tradicional para control).

1.4.2 Características del neumático como combustible alternativo

1.4.2.1 Origen y composición del neumático

Un neumático es básicamente un elemento que permite a un vehículo desplazarse en forma suave a través de superficies lisas. Consiste en una cubierta principalmente de caucho que contiene aire el cual soporta al vehículo y su carga. Su invención se debe al norteamericano Charles Goodyear quién descubrió, accidentalmente en 1880, el proceso de vulcanización, con el que se da al caucho la resistencia y solidez necesaria para fabricarlo.

El neumático está compuesto principalmente de tres productos: caucho (natural y sintético), un encordado de acero y fibra textil. A su vez, el caucho usado en la fabricación de neumáticos está compuesto por un grupo de polímeros (compuestos químicos de elevado peso molecular) entre los que se cuentan el polisopreno sintético, el polibutadieno y el más común que es el estierro-butadieno, todos basados en hidrocarburos.

Se agregan además, otros materiales al caucho para mejorar sus propiedades, tales como: suavizantes, que aumentan la trabajabilidad del caucho, antes de la vulcanización; óxido de Zinc y de Magnesio, comúnmente denominados activadores, pues son mezclados para reducir el tiempo de vulcanización de varias a horas a pocos minutos; antioxidantes, para dar mayor vida al caucho sin que se degrade por la acción del oxígeno y el ozono; y finalmente negro de humo, especie de humo negro obtenido por combustión incompleta de gases naturales, que entrega mayor resistencia a la abrasión y a la tensión.

Tabla 1-7.

Composición y características de los diferentes tipos de neumáticos.

Caucho natural	14 %
----------------	------

Caucho sintético	27%
Negro de humo	28%
Acero	14 - 15%
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio:	8,6 Kg
Volumen	0.06 m3

Neumáticos MCT

(camiones y microbuses)

Caucho Natural	27 %
Caucho sintético	14%
Carbón negro	28%
Acero	14 - 15%
Fibra, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16 - 17%
Peso promedio:	45,4 Kg.
Volumen	0.36 m3

Fuente: RubberManufacturersAssociation

Aunque suelen variar según el tipo de neumáticos y el país de fabricación, los diferentes elementos químicos que componen un neumático se muestran en la tabla siguiente junto a sus porcentajes respectivos:

Tabla 1-8.

Análisis químico del neumático

Elemento	Porcentaje
Carbono (C)	70

Hidrogeno (H)	7
Azufre (S)	1 – 3
Cloro (Cl)	0,2 - 0,6
Fierro (Fe)	15
Oxido de Zinc (ZnO)	2
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5
Cromo (Cr)	97-ppm
Níquel (Ni)	77-ppm
Plomo (Pb)	60-760ppm
Cadmio	5-10ppm
Talio	0,2-0,3ppm

Fuente: Combustibles alternativos, Holderbank 1997

En el proceso de vulcanizado, en la fabricación del neumático, la goma virgen es mezclada con otros productos (cauchos sintéticos, azufre y óxidos) y llevada a temperaturas que provocan cambios en su estructura química interna y en sus propiedades físicas. Estos cambios son, en la práctica, irreversibles. Posteriormente, la goma del neumático, al estar sometida a ambientes agresivos como el roce con el pavimento, se desgasta y degrada. El roce constante con el aire causa a su vez la oxidación del material, todo lo cual impide que la goma granulada recuperada a partir de neumáticos usados alcance los niveles de calidad de la goma virgen original. Este es el principal motivo por el cual no es posible reciclar neumáticos para utilizarlos como materia prima para producir nuevos neumáticos.

En la alternativa de incinerar neumáticos se genera calor, agua y cenizas. Estas cenizas, al contener los principales componentes necesarios para la fabricación de cemento, son absorbidas y capturadas en la estructura cristalina del cemento, durante el proceso de fabricación del mismo en el interior del horno rotatorio, lo cual permite, ahorrar materias primas y combustible.

La composición química de esta ceniza es la siguiente:

Tabla 1-9.

Análisis mineral de la ceniza de neumático. (Porcentaje en peso)

Compuesto	%
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	22.00
Dióxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	9.09
Óxido de Fierro (Fe ₂ O ₃)	1.45
Óxido de Calcio (CaO)	10.61

Dióxido de Titanio (TiO ₂)	2.57
Óxido de magnesio (MgO)	1.35
Óxido de Sodio (Na ₂ O)	1.10
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.92
Azufre en (SO ₃)	15.68
Fósforo en (P ₂ O ₅)	1.03
Óxido de Azufre (ZnO)	34.50

Fuente: Combustibles alternativos, Holderbank 1997

En Estados Unidos y Europa existe una clara preocupación por el tema del tratamiento de desechos sólidos, la cual se ve reflejada en leyes y normativas, que apuntan a crear una consciencia del reciclaje y a incentivar a sus comunidades para desechar residuos en lugares apropiados, obteniendo beneficios tanto económicos como medioambientales. En estados Unidos, actualmente, se desechan al año alrededor de 250 millones de neumáticos: además, se estima que existen entre 2 a 3 billones de estos desechos acumulados en dicha nación. Aproximadamente, 10% de estos son incinerados, cerca del 4% son exportados a otros países (normalmente para ser incinerados allí), otro 2% es usado en caucho asfáltico y 2% es reciclado en otros productos.

La forma más común de eliminación consiste en depositarlos en vertederos y hacer un relleno sanitario, sin embargo, el constante crecimiento de la cantidad de neumáticos desechados y la gran cantidad de espacio que estos ocupan debido a su forma, está provocando una saturación de los vertederos.

1.4.2.2 Los neumáticos desechados como combustible alternativo.

Como combustible, los neumáticos desechados son una excelente fuente de energía. Los neumáticos tienen un valor calorífico entre 6.500 a 9.000 Kcal/Kg, dependiendo de la composición, y de si el metal ha sido removido. A modo de comparación el carbón presenta un valor calorífico de 7.400 Kcal/Kg.

Tabla 1-10.
Poderes caloríficos de diferentes combustibles.

Combustible	Poder calorífico (Kcal/Kg)
Estiércol de vacuno	4.054
Paja de trigo	4.657
Madera seca	4.793
Corteza de pino	5.204
Carbón	7.400
Neumáticos (promedio)	8.300
Petróleo	10.409

Fuente: Marks, Manual del Ingeniero Mecánico

La principal ventaja es la reducción de costos que resulta de la utilización de esta fuente de energía. En el caso de una planta cementera, este ahorro es importante, ya que en éstas, entre un 35 y 45% del costo está relacionado con la energía. Por otro lado, el uso de este tipo de combustible, en el cual se reemplaza parte del combustible por neumáticos, o son usados estos como fuente única de energía, tiene la ventaja de que el acero de los neumáticos se funde durante la quemadura para formar parte del clínker mejorando las propiedades de éste.

Los neumáticos usados como combustible, ya sean completos o previamente trozados, tienen un contenido de humedad significativo, generalmente de menos del 2%. Los neumáticos contienen menos sulfuros que otros combustibles, elementos que en la combustión son oxidados y liberados al aire como agente contaminador. El impacto de las plantas cementeras modernas sobre la calidad del aire es sustancialmente menor que el nivel de contaminación medioambiental. Esto sigue siendo cierto cuando se usan combustibles alternativos. El uso de combustibles alternativos preserva combustibles

primarios. Análisis de ciclo de vida han demostrado que una utilización selectiva de combustibles derivados de residuos reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Con los sistemas de control ambiental apropiados, la quemadura de neumáticos, comparada con la de combustibles tradicionales como el carbón, produce similares emisiones de metales como Zinc, Cadmio, Plomo, Nickel y Cromo. La valorización energética de los neumáticos desechados en el proceso cementero ofrece ventajas significativas sobre otros métodos de utilización o eliminación, pues como veremos, tanto el contenido energético como el material es totalmente aprovechado en el proceso de combustión de clínker.

Desde mediados de los 80, los neumáticos desechados vienen siendo utilizados cada vez en mayor medida en los hornos de cemento como combustibles alternativos, demostrando su uso las siguientes ventajas:

- Se preservan recursos energéticos fósiles, no renovables, a la vez que se recupera el valor energético (y material) de los residuos o subproductos.
- Se reducen los impactos sobre el aire, el agua y el suelo (los que producirían su vertido o su incineración no controlada, u otra gestión de peor ecobalance).
- En la incineración de residuos en el horno de cemento no se produce ningún nuevo residuo como cenizas o escorias que requieran ser depositados o vertidos, ya que estas son absorbidas en el proceso y capturadas por las materias primas. Todos los elementos que ingresan al horno están presentes en el producto.
- Costos menores de gestión (se usan instalaciones existentes, evitándose inversiones en nuevas; y los costos de operación son menores).
- Se reducen las emisiones de CO₂ disminuyendo las emisiones de efecto invernadero.

1.5 Análisis de los efectos medioambientales en la producción de cemento

Los principales efectos están ligados al consumo de energía y a las emisiones del horno.

1.5.1 Consumo de energía.

La principal exigencia energética en la producción del cemento es el combustible para el horno. Los mayores equipos consumidores de energía eléctrica son los molinos (de materias primas, cemento y combustibles sólidos) y los grandes ventiladores (horno, molino de crudo y molinos de cemento). El consumo total de energía se mueve en los rangos 3.200 a 5.500 MJ/t de clínker y 90 a 130 Kwh/t de cemento, según el tipo de equipamiento y calidad de gestión operativa de la fábrica. Dada la importancia que en el costo de producción tiene el factor energético, la industria cementera se ha venido esforzando en la mejora de la eficiencia energética.

1.5.2 Emisiones del horno.

Las emisiones del horno de cemento provienen principalmente de las reacciones físicas y químicas de las materias primas y, en menor medida, de la combustión de los combustibles. Los principales componentes de los gases de emisión del horno son el nitrógeno del aire de combustión, CO_2 procedente de la calcinación del CO_3Ca y de los combustibles quemados, agua del proceso de combustión y de las materias primas, y el oxígeno en exceso. La tabla 1-11 nos muestra los porcentajes típicos en que se presenta cada componente de las emisiones del horno.

Tabla 1-11.

Composición de los gases en las emisiones del horno cementero.

Nitrógeno N ₂	45-66%
Dióxido de Carbono CO ₂	11-29%
Agua H ₂ O	10-39%
Oxígeno O ₂	3-10%
Otras emisiones Polvo, Cloruros, Fluoruro, dióxido de Sulfuro, óxido de Nitrógeno, monóxido de Carbono, compuestos orgánicos y metales	<1%

Fuente: Cembureau 1997

Puede verse que las emisiones del horno son, mayoritariamente, gases inocuos. Aunque, no se trata de un gas tóxico, la emisión de dióxido de carbono (CO₂) por su condición de gas de efecto invernadero, es controlada y reducida al máximo.

Dentro de los gases de combustión, existen pequeñas cantidades (menos del 1% del total) de agentes considerados contaminantes atmosféricos. Estas emisiones constituyen el impacto medioambiental primordial en la fabricación de cemento. los principales son:

- Óxidos de nitrógeno y otros compuestos nitrogenados (NO_x)
- Dióxido de azufre y otros compuestos sulfurosos (SO₂)
- Partículas
- Aunque de menor importancia en la fabricación de clínker: compuestos orgánicos volátiles, metales y sus compuestos, y PCDD/PCDF (Policlorinatodibenzodioxinas y dibenzofuranos).
- Monóxido de Carbono (CO)

Finalmente, otras emisiones, no relevantes usualmente, son ruidos, olores y residuos.

1.6 El uso de los neumáticos desechados como combustible en una fábrica de cemento.

1.6.1 Características medioambientales y efectos sobre el cemento

En general, el uso de neumáticos desechados como combustible en hornos cementeros reduce la producción de óxidos de nitrógeno y dióxidos de azufre, en relación a los carbones normalmente utilizados en la fabricación del cemento, ya que tienen un menor contenido de éstos elementos.

El azufre del neumático se incorpora a la cal de calcinación en forma de carbonato cálcico, que es una materia prima en la fabricación del cemento. Toda la ceniza se absorbe en la estructura cristalina del clínker; de esta forma, no hay residuos procedentes del neumático en los hornos de cemento. Un elevado contenido de cenizas provoca un menor flujo de materias primas que pasan por el precalentador del horno, aumentando la temperatura del gas de escape, con lo cual se tiene una mayor pérdida térmica. En este sentido los neumáticos presentan una nueva ventaja frente al carbón.

No se ha descrito ningún efecto adverso sobre la calidad del cemento por el uso de neumáticos desechados como combustible alternativo, y no se presentan complicaciones operacionales adicionales a lo tradicional en el proceso.

La única particularidad que eventualmente podría observarse, es que el clínker presenta una tonalidad un poco más oscura de lo habitual, producto de la impregnación de componentes no combustionados presentes en los neumáticos (acero reforzado).

Las pruebas realizadas en hornos de Estados Unidos demuestran que los controles existentes sobre las emisiones atmosféricas de los hornos deberían ser suficientes como para permitir el uso de neumáticos como combustible, cumpliendo con las normas sobre emisiones y siempre y cuando, el porcentaje de neumáticos no exceda el 30% del valor calorífico total del combustible utilizado en los hornos.

Como dato adicional, mencionaremos que el Instituto para la Protección Medioambiental del estado de Baviera (Alemania), llegó a la conclusión de que la mejor forma de eliminar neumáticos desechados era quemarlos en los hornos de cemento.

1.6.2 Emisiones del horno debidas a la combustión de neumáticos desechados.

No existe ninguna teoría que permita identificar con exactitud el efecto en las emisiones causadas por el uso de neumáticos desechados en los hornos de cemento. Estos sólo pueden obtenerse por medio de una medición real durante un ensayo.

A continuación se recoge la experiencia internacional que permite estimar la tendencia esperada en el peor de los casos para cada una de las emisiones.

1.6.2.1 Óxidos de nitrógeno y otros compuestos nitrogenados.

La formación de NO_x es una inevitable consecuencia de la alta temperatura de combustión (llama del orden de 2.000°C). Es formado principalmente por el aire de combustión (NO_x térmico). Si bien una parte del contenido de nitrógeno en los neumáticos podría teóricamente provocar la formación de NO_x combustible, este efecto es superpuesto por otras influencias más importantes como, por ejemplo, el tamaño de la llama. Además ésta posibilidad se ve reducida dado los menores contenidos de nitrógeno en el neumático frente al carbón de arriba

1.6.2.2 Dióxido de azufre y otros compuestos sulfurosos (SO_x).

El azufre entra en el proceso como componente de los combustibles y de las materias primas (en este caso, como sulfatos o sulfuros). El azufre que entra como sulfuro en las materias primas es parcialmente evaporado (~30%) en las primeras etapas del proceso, y emitido directamente a la atmósfera en su mayor parte. El resto del azufre que entra por las

materias primas y el total aportado por los combustibles será capturado íntegramente en el clínker y no aparecerá en las emisiones.

En general, los hornos de vía seca, trabajando con materias primas no altas en azufre, no presentan problemas significativos de emisiones de SO_x y su generación se ve reducida por el uso de neumáticos desechados al contener este menor porcentaje que el carbón. La emisión de SO_2 es influenciada en mayor grado por sulfuro volátil en la mezcla de crudo que por combustible alternativo. El total aportado por los neumáticos es capturado en el clínker y no aparecerá en las emisiones.

En general, los hornos de vía seca con intercambiador, trabajando con materias primas no altas en azufre, no tendrán problema significativo de emisiones de SO_x .

1.6.2.3 Monóxido de Carbono (CO).

La combustión en el quemador secundario de neumáticos a menudo produce una emisión mayor de CO . Una elevada tasa de combustión y/o valores máximos de la tasa de alimentación (neumáticos enteros) puede provocar problemas al ingresar aire falso que haga bajar la temperatura en el precalcinador.

1.6.2.4 Dióxido de Carbono (CO_2).

La emisión de CO_2 se sitúa entre 800 y 900 Kg/t de clínker. Casi un 60% de esta emisión proviene del proceso de calcinación, y es por tanto inevitable. El resto, deriva de la combustión de los combustibles. La emisión de CO_2 en la combustión de los neumáticos representa un porcentaje bajo en relación al aportado por las materias primas. Su formación es inherente al proceso de calcinación, y es por tanto inevitable.

Cabe señalar, que los cambios de tecnología, la mejora de la eficiencia de los procesos de combustión ha reducido más del 30% las emisiones asociadas de CO₂ en los últimos 25 años.

1.6.2.5 Compuestos Orgánicos (Hidrocarburos).

Por lo general, no es de esperar ninguna correlación frente a la incineración de neumáticos, sin embargo, mediciones con métodos sensibles pueden ser necesarias en el marco del proyecto. Pueden evitarse varios problemas desde el principio, si se dedica suficiente atención a perfeccionar la incineración a altas temperaturas y si los neumáticos se utilizan sólo en el quemador primario bajo condiciones de funcionamiento normales

Las innumerables mediciones realizadas para usar neumáticos desechados permiten concluir que la incineración de neumáticos no repercute en tales emisiones.

1.6.2.6 Metales y compuestos metálicos.

El proceso cementero tiene una gran capacidad para capturar los metales que entran con los materiales o los combustibles. Los metales son absorbidos en el clinker o en el polvo recogido en el filtro. Está ampliamente demostrado que el uso de combustibles alternativos como los neumáticos, no conduce a un incremento significativo de los metales en el cemento ni en el polvo del horno, y que tampoco se ven afectadas las emisiones cuando se limitan las entradas de los volátiles (el neumático tiene bajísimos contenidos de Cd y Tl, y no contiene Hg). El moderno sistema de reducción de la emisión de partículas en los gases de la chimenea es garantía de la reducción de las emisiones de metales.

1.6.2.7 Compuestos orgánicos volátiles (cov^s).

Las emisiones de compuestos orgánicos pueden ocurrir en las primeras etapas del proceso, al volatilizarse la materia orgánica presente en las materias primas al entrar en contacto con

los gases calientes. En la industria del cemento, estas emisiones no son indicadoras de combustión incompleta (dada la muy alta temperatura, largos tiempos de residencia y condiciones de exceso de oxígeno del proceso).

La cantidad de emisiones de compuestos orgánicos es tan pequeña, que no representa un aumento perceptible de riesgo para la salud pública o el medioambiente. La descarga de gases típica de un horno de cemento contiene menos de una décima parte de los hidrocarburos presentes en los gases de descarga de un automóvil.

1.6.2.8 Partículas.

Históricamente, la emisión de polvo, especialmente de la chimenea del horno, ha sido el impacto ambiental más significativo en la producción de cemento.

Las principales fuente de partículas son los hornos, los molinos de materias primas, enfriadores de clínker y molinos de cemento. En todos estos procesos, grandes volúmenes de gases fluyen a través de materiales polvorientos, y el producto final también es un polvo fino. La naturaleza del polvo recogido en los tres focos principales es: materias primas en las emisiones particuladas del horno, finos de clínker en el enfriador y producto final (cemento) en los molinos de cemento. La eficiencia de los modernos electrofiltros y filtros de mangas permiten reducir las emisiones de partículas de los focos principales a niveles muy bajos. Fuentes secundarias de emisión de partículas son los almacenes y sistemas de manejo de los materiales, así como las calles al interior de la planta.

La incineración de neumáticos desechados no tiene influencia en la emisión de partículas del horno, que sólo depende de la eficiencia de los equipos de desempolvado.

1.6.2.9 Otras emisiones.

A causa de la maquinaria pesada y el gran tamaño de los ventiladores usados, se originan emisiones de ruido y vibraciones que se llevan a niveles de baja significación. Es muy infrecuente un problema de emisión de olores en fábricas de cemento.

Tampoco es significativa la producción de residuos en la producción de cemento, a excepción del polvo del electrofiltro (o bien del filtro de mangas). Habitualmente es reciclado en el propio proceso; si no, debe ser depositado adecuadamente en un vertedero.

1.7 La tecnología adecuada para la quema de neumáticos

Como dijéramos, los neumáticos, ya sean enteros o trozados, pueden utilizarse como combustibles alternativo en los hornos rotatorios de las plantas cementeras; la utilización de los neumáticos desechados no afecta negativamente al rendimiento ambiental o a la calidad del producto. Recordemos además que el contenido en nitrógeno, azufre y ceniza es menor en los neumáticos que en el carbón típico; por lo tanto reduce el nivel de emisiones de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, y la totalidad de sus cenizas son absorbidas en la estructura del clínker, en particular su contenido de acero, que proporciona hierro adicional al cemento.

Es de suma importancia prever el control de entrada en la fábrica para los neumáticos desechados, a fin de evitar suministros indeseables o incluso peligrosos (tamaños no utilizables, llantas metálicas y otros materiales). Si bien la empresa de recolección se encargará de esta tarea, resulta inaceptable el ingreso de neumáticos al horno sin un control visual de la entrega. Para esto la empresa de cemento debería contratar personal encargado de esta labor.

La forma en que los neumáticos pueden usarse como combustible alternativo, entero o trozado, depende de la configuración del horno. El horno de cementos BíoBío en Curicó por ejemplo, tiene la ventaja de estar equipado con un precalcinador que puede quemar

neumáticos enteros; los hornos sin precalcinadores solamente pueden usarlos previo trozado, normalmente con un tamaño que varía entre 5x5 cm y 10x10 cms.

CAPITULO II

2 Parte experimental

2.1 Muestreo

2.1.1 Muestreo para neumáticos.

Ya que el interés del presente estudio no se orienta al análisis de los distintos tipos y marcas de neumáticos se determinó seleccionar un neumático al azar para su respectivo análisis.

2.1.2 Muestreo de crudo horno

Diariamente se toma 1 kg de crudo horno de los cuales un porcentaje se son destinados para los ensayos respectivos, tomado así 10 gr para nuestro análisis.

Se tomaran muestras por 30 días para así finalmente homogenizar el total muestreado.

2.2 Obtención de cenizas de neumáticos

Al neumático seleccionado se lo somete a un proceso de incineración. Los restos obtenidos al incinerar el neumático no son precisamente en su totalidad cenizas, por lo que se pulveriza estos para así obtener el porcentaje de cenizas deseado y de finura requerida para su análisis.

2.3 Método de laboratorio de cocción para elaboración de Clinker.

2.3.1 Preparación del crudo para el quemado

Se toman 8 g de crudo en un vidrio reloj, se le humedece con aproximadamente 1,6 ml de agua destilada y con los dedos de la mano se forman 4 o 5 nódulos de 12 mm.de diámetro aproximadamente (la formación de estos nódulos se hace para simular la entrega de clinker de fábrica y para un posible ensayo de microscopia)

2.3.2 Proceso de cocitura

Secados los nódulos formados se colocan en una luna reloj y se llevan a la estufa a 110 C durante 1 h.

2.3.3 Proceso de calcinación

Sin esperar que se enfríen los nódulos serán colocados en un crisol de platino y se los llevara a un horno de mufla a 1000 C por 20 minutos

2.3.4 Proceso de quemado.

Nuevamente sin esperar su enfriamiento luego de la calcinación de los nódulos, el crisol de platino será llevado al horno titán en la Temperatura deseada y un tiempo determinado.

Tanto con la temperatura como con el tiempo de quemado se establecen series variables de valores que permitan definir el comportamiento de los materiales. Así se pueden establecer temperaturas de 1350, 1400 y 1450 y tiempos de 10 a 30 minutos o más. A si mismo este aspecto es el que pondrá una correlación previo un estudio de condiciones específicas con las temperaturas y tiempos de un horno de fábrica.

2.3.5 Evaluación de la cocción

Para determinar el grado de combinación que se ha alcanzado en la cocitura se recurre al análisis de cal libre, mediante el método de etilenglycol. Eventualmente se podrá recurrir a análisis de microscopia como un método más completo.

Para incorporar las cenizas de neumáticos a la mezcla se añadirá el 1, 2, 3 % en peso de la mezcla según la dosificación que se desee y se procede a realizar la elaboración de los nódulos y los procedimientos anteriores hasta obtener nódulos de clinker.

2.4 Análisis de laboratorio

2.4.1 Análisis químico de materia prima y Clinker

En la planta 2 del Laboratorio de Control de Calidad se realizan análisis cuantitativos con la ayuda de un espectrómetro de rayos x. Se debe preparar una pastilla con el material a analizar, este puede ser materias primas como: caliza y arcilla; productos en proceso como: crudo y clinker. Una vez obtenida la pastilla colocamos en las celdas del espectrómetro, procedemos a digitar los códigos de la muestra en el equipo y accionamos el software. Así se obtienen los datos respectivos.

2.4.2 Determinación de Cal Libre (Método Complejo métrico)

- ✓ Pesar 1 gramo de muestra y colocar en un matraz erlenmeyer
- ✓ Adicionar 60 mL de solución de glicerina y montar en el equipo de calentamiento con reflujo
- ✓ Someter a calentamiento con agitación constante (agitador magnético) durante 30 minutos
- ✓ Observar el aparecimiento de un color rosado intenso
- ✓ Luego de transcurrido el tiempo indicado, desmontar el matraz y titular con la solución de acetato de amonio hasta la desaparición del color rosado, leer los mililitros consumidos

$$\text{CAL LIBRE} \quad \% \text{CaO} = \text{ml acetato consumidos} * f$$

f : factor de concentración de la solución de acetato de amonio

2.4.3 Determinación de Residuo Insoluble

- ✓ Pesar 1 g de muestra de cemento , colocarla en un vaso de precipitación de 250 mL de capacidad y agregar 100 mL de agua destilada caliente.
- ✓ Dispersar el cemento en el agua, mientras se agita la muestra, añadir 10 mL de ácido clorhídrico concentrado.
- ✓ Si fuere necesario deshacer todos los grumos con el extremo de una varilla de vidrio hasta que todo el cemento se haya descompuesto, llevar a calentamiento moderado por 30 minutos sobre una placa de calentamiento eléctrico.
- ✓ Filtrar la solución a través de un papel filtro de textura media, recogiendo el filtrado en caso de realizar la determinación de Trióxido de Azufre, en un vaso de precipitación de 400 mL, pasar todo el residuo del vaso, lavando repetidas veces con agua destilada caliente.
- ✓ Lavar el precipitado con hidróxido de sodio caliente (al 10% de concentración) por 3 veces consecutivas, enseguida lavar con ácido clorhídrico al 10% de igual forma por 3 veces.
- ✓ Lavar completamente el precipitado con agua destilada caliente, hasta que el precipitado quede libre de hidróxido de sodio.

- ✓ Transferir el papel filtro conteniendo el residuo a un crisol de porcelana previamente tarado, secar totalmente y calcinar durante 30 minutos en la mufla a 1000 °C.
- ✓ Sacar y pesar.
- ✓ Realizar los respectivos cálculos utilizando la siguiente fórmula:

$$R = m1 - m2 / m1 * 100$$

Siendo:

R = Residuo Insoluble en %

m1 = peso del crisol más muestra

m2 = peso del crisol con el blanco

m1 = peso del crisol con muestra

2.4.4 Determinación de Pérdida por Calcinación

- ✓ Pesar 1 g de muestra de cemento, colocar en un crisol de platino tarado.
- ✓ Colocar ese crisol en la mufla a 950 °C durante 45 minutos.
- ✓ Enfriar el crisol a temperatura ambiente en un desecador apropiado.
- ✓ Pesar el crisol con el residuo calcinado, anotar el resultado y calcula con la formula siguiente:

$$Pc = m1 - m2 / m1 * 100$$

Siendo:

Pc = pérdida por calcinación, en g

m1 = masa del crisol y el cemento antes de la calcinación, en g

m2 = masa del crisol y el residuo calcinado, en g.

2.4.5 Análisis microscópico del Clinker

La técnica de investigación que se va a emplear es microscopía de luz reflejada. No existe normas que regulen este tipo de análisis, tan solo existen técnicas que ayudan en la observación de los cristales.

2.4.5.1 Preparación De Muestra

- ✓ Homogenizar la muestra semanal de 2 kg
- ✓ Tomar 10 nódulos de clínker regulares.
- ✓ Limpiar y engrasar dos moldes de plástico
- ✓ Pesar 28.8 gramos de resina epoxi y 11.2 de endurecedor.
- ✓ Mezclar uniformemente en un vaso de polietileno con la paleta relajante.
- ✓ Colocar los nódulos de clinker en el molde plástico
- ✓ Mediante el equipo de vacío llenar los moldes plásticos con la resina.
- ✓ Dejar secar la probeta

2.4.5.2 Pulido De Las Muestras

- ✓ Desmoldar y cortar la probeta con la cortadora IsoMetLowSpeed.
- ✓ Para el pulido de la probeta se utilizan diferentes paños siendo los siguientes:

Tabla 2-1

Paños de Pulido

Superficie	Lubricante	Abrasivo	Tiempo	Fuerza	Velocidad
Paño					RPM

CARBMET	METADI FLUID	SiC – 400 Grit	Liso completamente	7	220 - 250
TEXMET2000	METADI FLUID	METADI PASTE 6 µm	5:00	6	120-150
TEXMET2000	METADI FLUID	METADI PASTE 1 µm	4:30	5	12-150
MICROCLO TH	ISOPROPYL ALCOHOL	MCROPOL ISH	2:30-3:30	3	100-120

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

2.4.5.3 Ataque de secciones pulidas para observación de microscopía

La textura y estructura de los minerales del clínker, pueden ser observadas luego del ataque de la muestra, por lo tanto, su procedimiento debe ser realizado con mucho cuidado, siendo sus parámetros más importantes: Método de ataque y reactivos de ataque.

2.4.5.4 Método de ataque

El método de ataque es fundamental ya que gracias a este se puede obtener el tono de color deseado para las diferentes fases mineralógicas.

El procedimiento consta de los siguientes pasos:

- ✓ Se coloca un papel filtro sobre un vidrio plano, impregnar el reactivo de ataque.
- ✓ Con la probeta del lado de la superficie pulida sobre el papel filtro efectuar toques sucesivos de aproximadamente 2s cada uno durante el tiempo que sea necesario.

- ✓ Una vez transcurrido el tiempo de ataque, lavar la superficie con alcohol etílico mediante un chorro con una piceta.
- ✓ Secar perfectamente la muestra con una corriente de aire caliente, por un tiempo aproximado de 5 a 8 minutos.
- ✓ Una vez atacada la muestra, debe ser almacenada en un desecador con Sílicagel, para evitar contaminación o alteración por el polvo o aire; y debe ser considerada la probeta como alterada luego de 15 días.

2.4.5.4.1 Reactivos de ataque

Tabla 2-2

Reactivos de ataque

Reactivo	Tipo de ataque
Aire	Ataca a la Cal Libre dando un color café claro con un tono amarillento luego de 48 horas.
Agua destilada	Por un tiempo de 5s ataca a la Cal Libre dando colores de rojo a amarillo rojizo brillante; según Fernández, por un tiempo de 20s ataca también a los Aluminatos Cálicos, aunque Wase, (1981) menciona que el tiempo de ataque para los Aluminatos es de 3 a 5s.
Nital (HNO ₃ al 1% en Alcohol Etílico)	Ataca básicamente a los Silicatos, y en menor intensidad a los Ferritos y Aluminatos; el tiempo de ataque puede ser hasta de 10 s.
Etanol + Agua (1:1)	Por 2s luego con una disolución al 1% de HCl en etanol por 2s ataca tanto a Ferritos como Aluminatos.
Agua destilada por 2s + Nital por 2s + Cloruro de Amonio de 30 a 45s	Este ataque es propuesto por Lehoux y Carruthers, (1985) para poner de manifiesto minerales como la Alita, Belita y Aluminatos.

2.5 Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.

2.5.1 Procedimiento

2.5.1.1 Preparación de Cubos

- ✓ Cubrir las caras interiores de los moldes con una capa delgada de aceite o grasa liviana.
- ✓ Cubrir las superficies de contacto entre las mitades de cada molde con una capa delgada de un aceite mineral pesado o una grasa liviana, como la vaselina.
- ✓ Ensamblar los moldes y eliminar el exceso de aceite o grasa de las caras interiores y de la superficie superior e inferior de cada molde.
- ✓ Colocar los moldes sobre placas planas y no absorbentes, que se han cubierto previamente con una capa delgada de aceite mineral, vaselina o grasa liviana.
- ✓ Aplicar a las líneas de contacto exteriores de los moldes y a las placas de base, una mezcla de 3 partes de parafina a 5 partes de resina vegetal, en masa, calentando hasta una temperatura entre 110 y 120 °C, para obtener juntas herméticas entre los moldes y las placas.

2.5.2 Dosificación, consistencia y mezclado de los morteros

Las proporciones, en masa, de los materiales secos del mortero normalizado deben ser una parte de cemento a 2.75 partes de arena normalizada.

Se debe usar una relación agua-cemento de 0.485 para todos los cementos Portland. La cantidad de agua de amasado, medida en cm³, para otros cementos, debe ser tal, que produzca un flujo de $110 \pm 5\%$, determinada según el punto 3 y se debe expresar como un porcentaje de la masa de cemento.

Se mezclan a la vez las siguientes cantidades de materiales en pilada de mortero para elaborar seis y nueve cubos.

Tabla 2-3

Cantidades de materiales para elaboración de morteros

No DE CUBOS MATERIAL	6	9
Cemento, g	500	740
Arena, g	1375	2034
Agua, cm ³ -Portland (a/c = 0.485)	242	359
-Otros flujos de $110 \pm 5\%$	---	---

Fuente: Norma INEN para Cementos Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista

El amasado debe hacerse mecánicamente según el procedimiento en la Norma INEN 155, al final del cual se arrastra rápidamente el material adherido a las paredes del recipiente y a la paleta hacia el fondo.

2.5.3 Moldeo de cubos de ensayo

Para el caso de cemento Portland, se deja el mortero en reposo en el recipiente de mezclado, durante 90 s, sin taparlo, durante los últimos 15 s de este intervalo, arrastrar rápidamente con la espátula todo el mortero adherido a la pared del recipiente hacia el fondo. Mezclar luego durante 15 s, haciendo funcionar la mezcladora a la velocidad rápida; terminando el mezclado, debe removerse, mediante la espátula, todo el mortero adherido en la paleta y en las paredes del recipiente hacia el fondo.

El llenado de los moldes debe iniciarse dentro de un intervalo de tiempo no mayor de 2,5 minutos luego de terminar el primer mezclado de la pilada del mortero.

Colocar una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor en cada compartimiento cúbico, y apisonar el mortero en cada compartimiento cúbico 32 veces en alrededor de 10 s, en 4 etapas de 8 golpes cada una. Los golpes deben darse siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior. La presión de apisonado debe ser la suficiente para asegurar un llenado uniforme de los moldes y se deben completar las 4 vueltas de apisonado(32 golpes) del mortero en un cubo antes de pasar al próximo.

Una vez terminado el apisonado de la primera capa en todos los compartimientos, se llena los mismos con el mortero restante y se apisona igual que la primera capa.

Durante la compactación de la segunda capa se recoge el mortero que haya rebosado sobre la parte superior del molde después de cada etapa de compactación, mediante el compactador y los dedos con las manos enguantadas. Al finalizar la compactación el mortero debe sobresalir ligeramente de los moldes. El mortero depositado en los bordes del molde debe verterse a los compartimientos con la ayuda del palustre antes de alisar los cubos, pasando la parte plana del palustre con la punta ligeramente levantada, una sola vez en el sentido longitudinal y otra en el sentido transversal del molde; luego, con el fin de nivelar el mortero, que sobresalga la cara superior del molde, se pasa la parte plana del palustre, con la punta ligeramente levantada, suavemente, a lo largo del molde, y enrasar el

mortero con el tope superior del molde pasando el borde recto del palustre, sosteniendo casi perpendicular al molde, con un movimiento de aserrado a lo largo del mismo.

2.5.4 Almacenamiento de los cubos de ensayo

Terminada la operación de llenado, colocan el conjunto formado por los cubos, el molde y la placa en la cámara de curado húmedo, de 20 a 24 horas, con las caras superiores de los cubos expuestas al aire húmedo, pero protegidos contra la eventual caída de gotas de agua.

2.5.4.1 Procedimiento

Se ensayan los cubos inmediatamente después de sacarlos de la cámara de curado húmedo. Todos los cubos correspondientes a determinada edad de ensayo deben ensayarse dentro de la tolerancia permisible de tiempo que se indica en la tabla.

EDAD DEL CUBO	TOLERANCIA PERMISIBLE
24 HORAS	± 0.5 HORAS
3 DÍAS	± 1 HORA
7 DÍAS	± 3 HORAS
28 DÍAS	± 12 HORAS

Seguidamente colocamos cuidadosamente el cubo, centrándolo debajo del bloque superior de carga de manera que la carga que se aplique a dos caras del cubo previamente medidas y que estaban en contacto con las superficies planas del molde, asegurándose que el sistema de rotula esférica esté libre de empujes laterales.

CAPITULO III

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

3.1.1 Caracterización de neumáticos usados

3.1.1.1 Potencial energético de los neumáticos.

A continuación se presenta los resultados obtenidos del estudio realizado del potencial energético de los neumáticos desechados de la ciudad de Riobamba.

Tabla 3-1
Potencial energético de los neumáticos desechados de la ciudad de Riobamba

MARCA	ANALISIS	REPLICA	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTANDAR
KUMHO				
Vehículo pesado	7990,3803 Cal/g	8637,3845 Cal/g	8313,88 Cal/g	+/- 457,50
Vehículo liviano	7965,7429 Cal/g	8007,9074 Cal/g	7986,82 Cal/g	+/- 29,81
GENERAL TIRE				
Vehículo pesado	8030,8320 Cal/g	7779,1527 Cal/g	7904,98 Cal/g	+/- 177,96
Vehículo liviano	7851,5219 Cal/g	7388,0951 Cal/g	7619,80 Cal/g	+/- 327,69


BRIGESTONE				
Vehículo pesado	8911,7228 Cal/g	8702,3379 Cal/g	8807,03 Cal/g	+/-148,06
Vehículo liviano	8899,9814 Cal/g	8586, 3055 Cal/g	8743,14 Cal/g	+/- 221,80
YOKOHAMA				
Vehículo pesado	8832,3861 Cal/g	8873,2877 Cal/g	8852,83 Cal/g	+/- 28,92
Vehículo liviano	6809,6763 Cal/g	6705,3468 Cal/g	6757,51 Cal/g	+/- 73,77

Fuente: Tesis de Grado previo al título de Ingeniero Ambiental, Mario A. Navarrete Córdova, Riobamba 2009

3.1.1.2 Análisis complexométrico de cenizas de neumáticos usados

75
Tabla 3-2

Análisis químico de cenizas de neumático usado

<div></div> <div>CONTROL DE CALIDAD</div>	<div>ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS</div> <div>CENIZA DE NEUMATICOS</div>			<div>Emisión</div> <div>Pagina: 1 de 1</div> <div>Distrib: GT-SGT-JMMP-JL</div>		
REFERENCIA: MUESTRAS DE CENIZAS DE NEUMATICOS						
IDENTIFICACIÓN						
Pérdida al Fuego						
SiO2	12,8					
Al2O3	8,9					
Fe2O3	1,4					
CaO	9,8					
MgO						
SO3						
Na2O						
K2O						
TiO2						
TOTAL	32,9					
Titulación						
Humedad						
Módulo de Sílice						
Módulo de Aluminio						
S. Álcalis						

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

3.1.2 Dosificación de cenizas de neumáticos usados

3.1.2.1 Dosificación teórica para la obtención de crudo a partir de tres componentes

Se buscó la composición de materia prima obtenida del análisis químico siendo estos determinados en el mes de noviembre tomando así su promedio, este es el saco para la caliza y arcilla molino.

Tabla 3-3**Composición química de materias primas**

Componente	Caliza Molino	Arcilla Molino	Cenizas de neumáticos
P*F	36,1	13,7	
SiO ₂	12,9	34,5	12,8
Al ₂ O ₃	2,47	20,5	8,9
Fe ₂ O ₃	1,52	20,6	1,4
CaO	45,4	6,4	9,8

Fuente: Autor

Se determinó un rango adecuado de módulos para ser probados que son:

Saturación de Cal	0.93-0.96
Módulo de Silicio	2.3-2.6
Módulo de Aluminio	1.35-2

Para la dosificación para tres componentes el cálculo se realiza aplicando el supuesto de que, para x partes de caliza (componente 1) e y partes de arcilla (componente 2)le corresponde una parte en peso del componente de cenizas de neumáticos (componente 3), como corrector. Teniendo así las formulas siguientes:

Ecuación 3-1

$$x = \frac{c1 * b2 - c2 * b1}{a1 * b2 - a2 * b1}$$

Ecuación 3-2

$$y = \frac{a_1 * c_2 - a_2 * c_1}{a_1 * b_2 - a_2 * b_1}$$

Tabla 3-4

Símbolos para el cálculo de los componentes del crudo.

Componentes	Clinker	Crudo	Mat. Prima N°1	Mat. Prima N°2	Mat. Prima N°3
CaO	C	C _m	C ₁	C ₂	C ₃
SiO₂	S	S _m	S ₁	S ₂	S ₃
Al₂O₃	A	A _m	A ₁	A ₂	A ₃
Fe₂O₃	F	F _m	F ₁	F ₂	F ₃

$$a_1 = (2,8 \text{ SC} * S_1 + 1,65 * A_1 + 0,35 * F_1) - C_1$$

$$b_1 = (2,8 \text{ SC} * S_2 + 1,65 * A_2 + 0,35 * F_2) - C_2$$

$$c_1 = C_3 - (2,8 \text{ SC} * S_3 + 1,65 * A_3 + 0,35 * F_3)$$

$$a_2 = \text{SM} (A_1 + F_1) - S_1$$

$$b_2 = \text{SM} (A_2 + F_2) - S_2$$

$$c_2 = S_3 - \text{SM} (A_3 + F_3)$$

Donde:

SC = Saturación de cal

MS= Saturación de sílice

Calculando los valores para a₁, b₁, c₁, a₂, b₂, c₂ se determinó los siguientes datos:

$$a_1 = (2,8 (0,92)*12,9) + (1,65* 2,47) + (0,35* 1,52)) - 45,5$$

$$a_1 = - 7,6621$$

$$b_1 = (2,8 (0,92)*34,5) + (1,65*20,5) + (0,35*20,6)) - 6,4$$

$$b_1 = 123,507$$

$$c_1 = 9,8 - ((2,8 (0,92)*12,8) + (1,65*8,9) + (0,35* 1,4))$$

$$c_1 = -38,348$$

$$a_2 = 2,5 (2,47 + 1,52) - 12,9$$

$$a_2 = -2,925$$

$$b_2 = 2,5 (20,5 + 20,6) - 34,5$$

$$b_2 = 68,25$$

$$c_2 = 12,8 - 2,5 (8,9 + 1,4)$$

$$c_2 = -12,95$$

Ahora se introducen los valores obtenidos en la fórmula para x,y

$$x = \frac{(-38,348) * 68,25 - (-12,95) * 123,507}{(-7,66) * 123,507 - (-2,925) * 123,507}$$

$$x = 6,3$$

$$y = \frac{(-7,66) * (-12,95) - (-2,925) * (-38,348)}{(-7,66) * 68,25 - (-2,925) * 123,507}$$

$$y = 0,1$$

Con lo que resulta que una parte de cenizas de neumáticos corresponden a 6,3 partes de caliza y 0,08 partes de arcilla, de modo que expresándolo en porcentajes nos queda:

	Partes	Porcentaje
Caliza	6,3	85,4
Arcilla	0,08	1,1
Cenizas	1	13,6

Al realizar los cálculos para tres componentes y a partir del grado de saturación de cal y módulo de silicio, dentro de los rangos de módulos adecuados se obtuvo lo siguiente:

Tabla 3-5

Dosificación de crudo partir de SC de 0,92 y MS de 2,5

DOSIFICACION	85,4	1,1	13,6	
PARTES	6,3	0,1	1,0	
Componentes	Caliza	Arcilla	Cenizas	Crudo
SiO ₂	12,9	34,5	12,8	13,12
Al ₂ O ₃	2,47	20,5	8,9	3,54
Fe ₂ O ₃	1,52	20,6	1,4	1,71
CaO	45,5	6,4	9,8	40,24
			SC	0,92
			MS	2,5
			MA	2,07

Fuente: Autor

Tabla 3-6

Dosificación de crudo partir de SC de 0,90y MS de 2,4

DOSIFICACION	85,9	2,2	11,9	
PARTES	7,2	0,188	1,0	
COMPONENTES	Caliza	Arcilla	Cenizas	Crudo
S	12,9	34,5	12,8	13,37
Al	2,47	20,5	8,9	3,64
Fe	1,52	20,6	1,4	1,93
Ca	45,5	6,4	9,8	40,38
			SC	0,9
			MS	2,4
			MA	1,88

Fuente: Autor

3.1.2.2 Dosificación experimental de cenizas de neumáticos usados.


Para la determinación de esta dosificación no se basó en cálculos de componentes ya que los datos obtenidos a partir de la composición química de los elementos no son aplicables a la producción por lo que se dosifico en proporción de 1, 2, 3 % (de cenizas) en peso de crudo horno muestreado. Obteniendo así nuestro crudo modificado para la elaboración de los nódulos con la dosificación antes mencionada.

3.1.3 ANALISIS QUIMICO, CUALITATIVO E INTERPRETATIVO DEL CLINKER OBTENIDO.

3.1.3.1 Análisis químico del Clinker obtenido

Tabla 3-7


Análisis químico de Clinker dosificado con 1% de cenizas

<div>  </div> <div> CEMENTO CHIMBORAZO <i>Control de Calidad</i> </div>	ANALISIS QUIMICO		Dosificacion :1% de cenizas
	CLINKER		
PROCEDENCIA			
IDENTIFICACION	CRUDO	CLINKER	
Análisis Químicos			
Perd. Fuego	35,1	0,2	
SiO ₂	14,5	22,6	
Al ₂ O ₃	3,5	5,1	
Fe ₂ O ₃	2,5	3,0	
CaO	42,8	66,6	
MgO	0,76	1,02	
SO ₃	0,20	0,56	
Na ₂ O	0,20	0,43	
K ₂ O	0,14	0,19	
TiO ₂	0,27	0,26	
TOTAL	99,9	100,0	
Titulo			
Cal Libre		1,00	
Res.Insoluble		0,20	
Peso Litro			
SC	92,3	92,2	
MS	2,42	2,80	
MA	1,37	1,73	
S. Alcalis	0,29	0,56	
C ₃ S		56,7	
C ₂ S		22,1	
C ₃ A		8,6	
C ₄ AF		9,0	
Fase Líquida		23,3	
Indice Costra		27,9	

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

Tabla 3-8


Análisis químico de Clinker dosificado con 2% de cenizas

 CEMENTO CHIMBORAZO <i>Control de Calidad</i>	ANALISIS QUIMICO CLINKER	Dosificacion : 2 % de cenizas
PROCEDENCIA		
IDENTIFICACION	CRUDO	CLINKER
Análisis Químicos		
Perd. Fuego	35,3	0,8
SiO ₂	14,5	22,5
Al ₂ O ₃	3,5	5,2
Fe ₂ O ₃	2,5	3,0
CaO	42,7	66,3
MgO	0,76	1,00
SO ₃	0,17	0,33
Na ₂ O	0,19	0,42
K ₂ O	0,15	0,18
TiO ₂	0,27	0,27
TOTAL	100,0	100,0
Titulo		
Cal Libre		1,25
Res. Insoluble		0,22
Peso Litro		
SC	91,9	92,0
MS	2,42	2,74
MA	1,40	1,73
S. Alcalis	0,29	0,54
C ₃ S		55,4
C ₂ S		22,7
C ₃ A		8,7
C ₄ AF		9,1
Fase Líquida		23,5
Indice Costra		28,4

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

Tabla 3-9

Análisis químico de Clinker dosificado con 3% de cenizas.

 CEMENTO CHIMBORAZO <i>Control de Calidad</i>	ANALISIS QUIMICO CLINKER		Dosificacion : 3% de cenizas
PROCEDENCIA			
IDENTIFICACION	CRUDO	CLINKER	
Análisis Químicos			
Perd. Fuego	35,0	0,6	
SiO ₂	14,5	22,7	
Al ₂ O ₃	3,8	5,5	
Fe ₂ O ₃	2,7	3,2	
CaO	42,1	65,7	
MgO	0,76	1,05	
SO ₃	0,46	0,29	
Na ₂ O	0,20	0,43	
K ₂ O	0,18	0,19	
TiO ₂	0,39	0,29	
TOTAL	100,0	100,0	
Titulo			
Cal Libre		1,35	
Res. Insoluble		0,23	
Peso Litro			
SC	89,2	89,7	
MS	2,23	2,59	
MA	1,41	1,71	
S. Alcalis	0,32	0,56	
C ₃ S		48,7	
C ₂ S		28,4	
C ₃ A		9,2	
C ₄ AF		9,8	
Fase Líquida		25,1	
Indice Costra		31,1	

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

3.1.3.2 Análisis cualitativo e interpretativo del Clinker obtenido.

Tabla 3-10

Análisis cualitativo e interpretativo de Clinker dosificado con 1% de cenizas

Cemento Chimborazo C. A.		MICROSCOPIA		
Control de Calidad		Muestra: CL-1% Cenizas		
Análisis cualitativo				
C3S	Forma:	<input type="checkbox"/> Equidimensional	<input checked="" type="checkbox"/> A largado	
	Grado de composición:	<input type="checkbox"/> Euhedral	<input checked="" type="checkbox"/> Subhedral	<input checked="" type="checkbox"/> Anhedral
	Inclusiones cristalinas:	<input type="checkbox"/> C2S	<input checked="" type="checkbox"/> CaO libre	<input type="checkbox"/> Periclasa
	Dimensión media de xxs:	<input type="text"/> 51 μm		
	Dimensión máxima de xxs	<input type="text"/> 89 μm		
C2S	Forma:	<input checked="" type="checkbox"/> Redondeada	<input checked="" type="checkbox"/> Con inicio de disipación	<input type="checkbox"/> Digitado
	Distribución:	<input checked="" type="checkbox"/> Dispersos	<input type="checkbox"/> Zonas regulares	<input type="checkbox"/> Zonas irregulares
	Dimensión media de xxs:	<input type="text"/> 37 μm		
	Dimensión media de zonas:	<input type="text"/> 456 μm		
CaO libre	Forma:	<input checked="" type="checkbox"/> Redondeada	<input checked="" type="checkbox"/> Irregular	<input type="checkbox"/>
	Distribución:	<input checked="" type="checkbox"/> Dispersos	<input type="checkbox"/> Zonas regulares	<input type="checkbox"/> Zonas irregulares
	Dimensión media de xxs:	<input type="text"/> μm		
	Dimensión media de zonas:	<input type="text"/> μm		
Poros	Forma:	<input type="checkbox"/> Regular	<input checked="" type="checkbox"/> Irregular	<input type="checkbox"/> interligados
	Dimensión media:	<input type="text"/> 148 μm		
	Frecuencia:	<input type="checkbox"/> Alta	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Baja
Análisis interpretativo				
Grado de molienda				
	Calcareo:	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
	Silice:	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
Grado de homogenización				
		<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
Temperatura de clinkerización				
		<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal a alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
1° Enfriamiento (1450 a 1250) °C				
		<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal a lento	<input type="checkbox"/> Lento
2° Enfriamiento (1250 a 50) °C				
		<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Rapido	<input type="checkbox"/> Lento

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

Tabla 3-11

Análisis cualitativo e interpretativo de Clinker dosificado con 2% de cenizas

Cemento Chimborazo C. A.		MICROSCOPIA		
Control de Calidad				Muestra: CL-2% Cenizas
Análisis cualitativo				
C3S	Forma:	<input type="checkbox"/> Equidimensional	<input checked="" type="checkbox"/> Alargado	
	Grado de composición:	<input checked="" type="checkbox"/> Euhedral	<input checked="" type="checkbox"/> Subhedral	<input checked="" type="checkbox"/> Anhedral
	Inclusiones cristalinas:	<input type="checkbox"/> C2S	<input checked="" type="checkbox"/> CaO libre	<input type="checkbox"/> Periclasa
	Dimensión media de xxs:		<input type="text" value="39"/> μm	
	Dimensión máxima de xxs:		<input type="text" value="76"/> μm	
C2S	Forma:	<input checked="" type="checkbox"/> Redondeada	<input type="checkbox"/> Con inicio de disipación	<input type="checkbox"/> Digitado
	Distribución:	<input checked="" type="checkbox"/> Dispersos	<input checked="" type="checkbox"/> Zonas regulares	<input type="checkbox"/> Zonas irregulares
	Dimensión media de xxs:		<input type="text" value="39"/> μm	
	Dimensión media de zonas:		<input type="text" value="382"/> μm	
CaO libre	Forma:	<input checked="" type="checkbox"/> Redondeada	<input checked="" type="checkbox"/> Irregular	
	Distribución:	<input type="checkbox"/> Dispersos	<input checked="" type="checkbox"/> Zonas regulares	<input type="checkbox"/> Zonas irregulares
	Dimensión media de xxs:		<input type="text" value=""/> μm	
	Dimensión media de zonas:		<input type="text" value=""/> μm	
Poros	Forma:	<input type="checkbox"/> Regular	<input checked="" type="checkbox"/> Irregular	<input type="checkbox"/> interligados
	Dimensión media:		<input type="text" value="80"/> μm	
	Frecuencia:	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Baja
Análisis interpretativo				
Grado de molienda				
	Calcareo:	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
	Sílice:	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
Grado de homogenización				
		<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
Temperatura de clinkerización				
		<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal a alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
1° Enfriamiento (1450 a 1250) °C				
		<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal a lento	<input type="checkbox"/> Lento
2° Enfriamiento (1250 a 50) °C				
		<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Rapido	<input type="checkbox"/> Lento

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

Tabla 3-12

Análisis cualitativo e interpretativo de Clinker dosificado con 3% de cenizas

Cemento Chimborazo C. A.		MICROSCOPIA		
Control de Calidad				Muestra: CL-3% Cenizas
Análisis cualitativo				
C3S	Forma:	<input checked="" type="checkbox"/> Equidimensional	<input type="checkbox"/> Alargado	
	Grado de composición:	<input checked="" type="checkbox"/> Euhedral	<input checked="" type="checkbox"/> Subhedral	<input checked="" type="checkbox"/> Anhedral
	Inclusiones cristalinas:	<input type="checkbox"/> C2S	<input checked="" type="checkbox"/> CaO libre	<input type="checkbox"/> Periclasa
	Dimensión media de xxs:	<input type="text"/> 39 μm		
	Dimensión máxima de xxs:	<input type="text"/> 45 μm		
C2S	Forma:	<input checked="" type="checkbox"/> Redondeada	<input type="checkbox"/> Con inicio de disipación	<input type="checkbox"/> Digitado
	Distribución:	<input checked="" type="checkbox"/> Dispersos	<input checked="" type="checkbox"/> Zonas regulares	<input type="checkbox"/> Zonas irregulares
	Dimensión media de xxs:	<input type="text"/> 19 μm		
	Dimensión media de zonas:	<input type="text"/> μm		
CaO libre	Forma:	<input checked="" type="checkbox"/> Redondeada	<input type="checkbox"/> Irregular	
	Distribución:	<input checked="" type="checkbox"/> Dispersos	<input checked="" type="checkbox"/> Zonas regulares	<input type="checkbox"/> Zonas irregulares
	Dimensión media de xxs:	<input type="text"/> μm		
	Dimensión media de zonas:	<input type="text"/> μm		
Poros	Forma:	<input type="checkbox"/> Regular	<input checked="" type="checkbox"/> Irregular	<input type="checkbox"/> interligados
	Dimensión media:	<input type="text"/> 238 μm		
	Frecuencia:	<input checked="" type="checkbox"/> Alta	<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Baja
Análisis interpretativo				
Grado de molienda				
	Calcareo:	<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
	Silice:	<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
Grado de homogenización				
		<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente
Temperatura de clinkerización				
		<input type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal a alta	<input checked="" type="checkbox"/> Alta
1° Enfriamiento (1450 a 1250) °C				
		<input checked="" type="checkbox"/> Normal	<input type="checkbox"/> Normal a lento	<input type="checkbox"/> Lento
2° Enfriamiento (1250 a 50) °C				
		<input type="checkbox"/> Normal	<input checked="" type="checkbox"/> Rapido	<input type="checkbox"/> Lento

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad Empresa Cemento Chimborazo

3.1.4 Resistencia (Mpa) a la compresión de morteros a 1, 3, 7, 28 días para las dosificaciones planteadas.

Tabla 3-13

Dosificación de Materias Primas para la elaboración de cemento

MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACION DE CEMENTO	% DOSIFICACION
CLINKER (obtenido con el 1,2,3 % de cenizas de neumáticos)	77
YESO	3
PUZOLANA	20

Tabla 3-14

Resistencias a la compresión en Mpa para las distintas dosificaciones

% DE CENIZAS DIAS	1	2	3	INEN
1	7,98	6,1	4,6	
3	15,5	13,1	10	13
7	20,98	19,6	17,9	20
28	28,4	26,1	23,7	25

Fuente: Autor

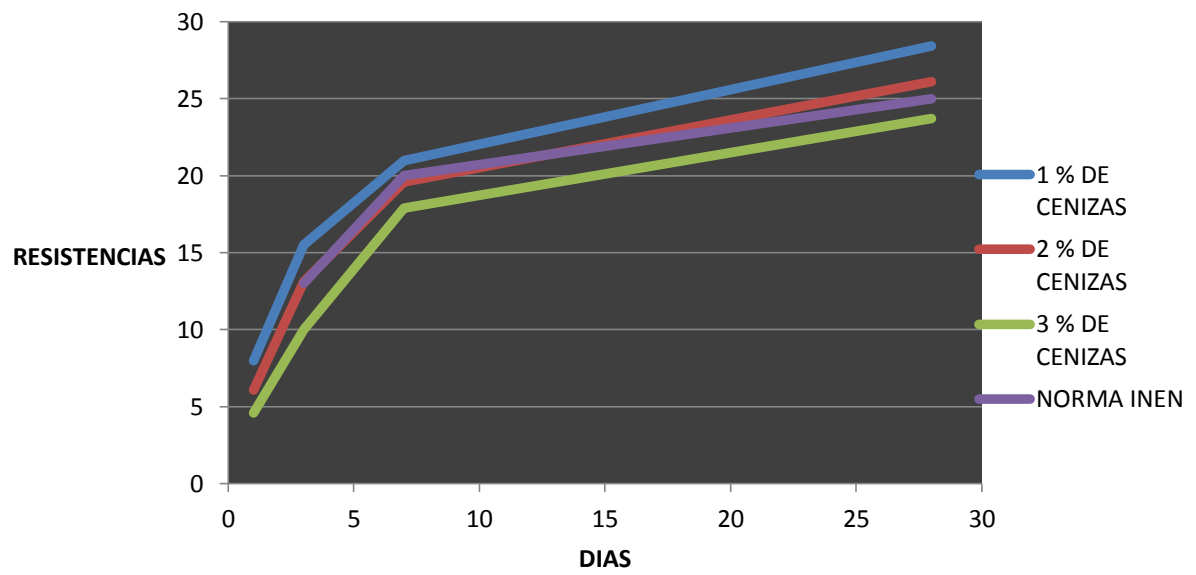


Fig. 3-1 Resistencias a la compresión en Mpa 1, 3, 7, 28 días

3.2 Discusión de Resultados

- Analizando la tabla 3-3 en el cual se representa la composición química de los tres componentes (caliza, arcilla, cenizas de neumáticos) del crudo a diseñar que se obtiene mediante el análisis complexométrico, donde se puede determinar todos los óxidos principales donde se observa que el mayor contenido de mineral en la cenizas de neumáticos es el óxido de sílice, además realizó el análisis espectroscópico de la caliza y de la arcilla determinando que la caliza tiene un alto contenido de óxido de calcio y en la arcilla en predominante es el óxido de sílice.
- Al analizar los datos obtenidos en las tablas 3-5 y 3-6 en los cuales se expresa la dosificación teórica que se obtuvieron mediante el cálculo de diseño con la composición química de los tres componentes que forman el crudo (caliza, arcilla, y neumático), componentes expresados en la tabla 3-4 con su respectiva composición química. , dado que el cálculo para la dosificación se basó en el rango adecuado de módulos para ser probados la composición química de las cenizas nos da un porcentaje de SiO_2 mayor a sus otros componentes (tabla 3-4) por lo que se notó que disminuirá el porcentaje de arcilla en la dosificación.
- En la tabla 3-7 se encuentra el análisis químico del Clinker obtenido al dosificar el 99% de crudo y 1 % de cenizas de neumáticos en el cual se determinó que los datos de los módulos de sílice, alúmina, saturación de cal y el equivalente alcalino se encuentran dentro de los rangos sin embargo la cal libre de 1.00 se encuentra al límite del rango permisible de la norma interna de la empresa. Al tener este dato de cal libre nos indica que todo el CaO no ha reaccionado esto se deberá a que el proceso de clinkerización efectuado no se controló parámetros de temperatura y tiempo.

- De acuerdo con el análisis químico expresados en la tabla 3-8 obtenido al dosificar un 98 de crudo y 2 % de cenizas de neumáticos, se determinó un incremento en cal libre 1.25 dado así que se encuentra fuera de especificación según la norma interna. Cabe recalcar que sus módulos obtenidos se encuentran dentro de los rangos de la tabla de bogue
- De acuerdo con el análisis químico expresados en la tabla 3-9 obtenido al dosificar un 97% de crudo y 3 % de cenizas de neumáticos, se nota un incremento en cal libre a 1.35 este incremento se da ya que al adicionar mayor cantidad de cenizas de neumáticos, al tener este incremento los módulos obtenidos no se encuentran dentro de los rangos de la tabla de bogue.
- Según el análisis microscópico expresado en la tablas 3-10, 3-11, 3-12 que el clinker presenta un contenido bajo de cal libre para la dosificación del 1%, que en relación para las otras dosificaciones que contienen un mayor contenido, por lo cual cumple con las normas internas de la fábrica, presentando un clínger de bajo porcentaje de C_2S secundaria (belita) y una fase fundida.. Cabe decir que esta formación de cal libre se debe a que no se llegó a una temperatura de clinkerizacion deseada y que además en el enfriamiento no fue el deseado para la formación de abrigos de Belita.
- En la tabla 3-13 se evidencia las diferentes resistencias a la compresión que se da al dosificar con el 1, 2, 3 % de cenizas la cual se la compara con lo propuesto por el NTE INEN 490 notando así que para el 1 y 2 % son datos que se encuentran dentro de la norma en tanto que para el 3% no es así, esto se lo observa de mejor manera mediante la Fig 3.1

CAPITULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- ✓ El cálculo de diseño obtenido para el crudo culpe cuando se utiliza el 1% de cenizas obteniéndose los mejores resultados tanto para la preparación del clinker como la preparación del cemento. Cumpliéndose de esta manera los requisitos explicados en la NTE INEN 490.
- ✓ Al ser alto el poder calorífico de los neumáticos se puede utilizar como sustituto de combustibles, además como sustituto de materias primas ya que contiene componentes inertes (principalmente calcio, silicio hierro y aluminio). Si la materia prima natural no contiene suficiente hierro, el uso de neumáticos ayuda directamente a obtener los requerimientos necesarios del producto.
- ✓ Al dosificar con 1, 2, 3 porciento de cenizas de neumáticos se obtuvo un crudo y por consecuencia un Clinker que se encuentra bajo los parámetros, dado así que la dosificada con el 1% de cenizas de neumáticos en relación a las otras dosificaciones este presenta variación en la cal libre por lo que a mayor porcentaje de cal libre nuestras resistencias tenderán a bajar.

- ✓ Las resistencias mecánicas alcanzada por el cemento obtenido con el Clinker dosificado con neumáticos de acuerdo a los resultados, para la dosificación de 1% de cenizas cumplen con la NTN INEN 490.
- ✓ La dosificación adecuada desde el punto de vista químico, microscópico y mediante la resistencia a la compresión del cemento obtenido se concluye que la dosificación optima o deseada es la que contiene el 1% de cenizas de neumáticos usados y 99 % de crudo.
- ✓ Dado que la dosificación teórica obtenida no puede ser planteada o propuesta para la fabricación o elaboración de Clinker, ya que la empresa desea minimizar gastos en combustible incorporando los neumáticos usados y no que los neumáticos sean un componente principal por lo tanto concluimos que esta dosificación teórica no es factible ya que el interés del presente estudio es constatar el impacto de adicionar neumáticos en el proceso de clinkerización.

4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ En caso de que la empresa desee implementar el uso de neumáticos como combustible alternativo se recomienda implementar conjuntamente con las autoridades municipales la creación de un departamento de reciclaje y reutilización de neumáticos fuera de uso para así tener una disposición final de estos.
- ✓ Se recomienda incorporar el 1% de neumáticos usados al horno por los resultados obtenidos en el presente proyecto ya que un incremento de este produciría efectos negativos en el proceso de clinkerización.
- ✓ Al analizar el proceso de fabricación de cemento podemos determinar que en dicho proceso se puede incluir al neumático como combustible alternativo por lo que se recomienda como posible alternativa lo expresado en el Anexo XVIII.
- ✓ Es importante que la empresa destine equipos para investigación los cuales se pueda simular el proceso para la producción de cemento, dándonos así una idea real o cercana a la real para obtener resultados que serán más confiables.
- ✓ Se recomienda en lo posible se maneje procedimientos estandarizados de medición en el proceso de elaboración de Clinker a nivel experimental con el fin de que resulte datos con un porcentaje menor de error.
- ✓ Este estudio realizado debe ser tomado muy en cuenta como base para futuras investigaciones debido a que el incremento de la cantidad de los neumáticos en nuestra ciudad y país y la disposición final de los neumáticos ocasiona un impacto ambiental relevante y las únicas empresas que darán una solución final son las cementeras por lo que se recomienda investigar con otros tipos de variables.

BIBLIOGRAFIA

- 1. CAMPBELL, D.**, Microscopical Examination and Interpretation of Portland Cement and Clinker., 2a ed., California-EEUU., Associate Editor., 1990., Pp. 79-103
- 2. DUDA, W.**, Manual Tecnológico del Cemento. Madrid-España., Urmo., 1977., Pp. 13-19
- 3. ECUADOR.**, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN)., Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos., Quito-Ecuador., INEN.,2011., Pp 3-14.
- 4. LABAHN, Hy KOHLHAAS, L.**, Prontuario del Cemento., 5a ed., Barcelona-España., Técnicos Asociados., 1983., Pp. 1-10
- 5. CARRERA S.**, Optimización Del Proceso De Clinkerización Mediante El Análisis Microscópico Del Clínter En La Empresa Cemento Chimborazo., Facultad de Ciencias., Escuela de ingeniería Química.,Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba-Ecuador., TESIS., 2008., Pp. 23-49
- 6. NAVARRETE M.**, Estudio de la utilización como combustible alternativo y plan de disposición final de neumático desechados en la ciudad de

Riobamba., Facultad de Ciencias., Escuela de Biotecnología Ambiental.,
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba-Ecuador.,
TESIS., 2009., Pp 26-29, 81

BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

7. UTILIZACIÓN DE NEUMÁTICOS TRITURADOS COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1181/2/CAPITULO%20V.pdf>

2012-09-11

8. PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE CEMENTO

<http://www.fundacioncema.org/Uploads/docs/ProduccionSostenibleCemento.pdf>

2012-06-03

ANEXOS

ANEXO IV

FORMULARIO PARA CEMENTOS



FACTOR DE SATURACIÓN DE CAL (F.S.C.)

$$\text{F.S.C. (MgO} < 2) = 100 (C + 0.75M) / (2,855 + 1,18A + 0.65F)$$

$$\text{F.S.C. (MgO} > 2) = 100 (C + 1,5M) / (2,855 + 1,18A + 0.65F) \text{ (Usual 90-98)}$$

MÓDULO DE SILICATOS (M.S.)

$$\text{M.S.} = S : (A + F) \text{ (Usual: 2-3)}$$

< 2 —> cocción fácil, exceso de fase líquida, ataque a los refractarios, costra fusible, formación de bolas, clínquer duro, horno inestable, bajo consumo térmico, menor resistencia del cemento.

> 3 —> cocción difícil, poca fase líquida, cargas térmicas elevadas, poca costra, clínquer pulvulento, cal libre elevada, horno inestable, cemento de alta

resistencia inicial y de fraguado lento.

MÓDULO DE ALUMINA (M.A.)

M.A. = A/F ideal = 1,38 (Usual = 1,3 - 2,5) > 2,5 fase líquida viscosa, cementos de alta resistencia inicial (A.fl.l.) < 1,3 fase líquida fluida, cemento de baja resistencia inicial (B.R.I) y bajo calor de hidratación.

MÓDULO HIDRÁULICO (M.H.)

$$\text{M.H.} = C : (S + A + F) \text{ (Usual = 1,7-2,3)} < 1,7: \text{ cemento de baja resistencia.}$$

> 2,4: cemento expansivo, cal libre elevada

% FASE LÍQUIDA EN LA ZONA DE SINTERIZACIÓN (F.L.)

$$\text{MA} > 1,38 \text{ \% FL } 1338 \text{ } ^\circ\text{C} = 6,1F + M + K + \text{SO}_3$$

$$\text{MA} < 1,38 \text{ \% FL } 1338 \text{ } ^\circ\text{C} = 8,2A - 5,22F + M + K + N + \text{SO}_3 \quad (\text{Usual 23 a 23})$$

$$\text{MA} > 0,64 \text{ \% FL } 1450 \text{ } ^\circ\text{C} = 3,0A + 2,25F + M + K + N + \text{SO}_3$$

EQUIVALENTE ALCALINO (E.A.)

$$\text{E.A.} = \text{Na}_2\text{O} \cdot > - 0.659 \text{ K}_2\text{O} \text{ (Usual s 0,60\%)}$$

TEMPERATURA TEÓRICA DE SINTERIZACIÓN (°C)

$$^\circ\text{C} = 1300 + 4,51 \text{ C}_3\text{S} + 3,74 \text{ CaA} + 12,64 \text{ C}_4\text{AF}$$

ÍNDICE DE COSTRA (A.W.)

$$\text{MA} \gg 0,64 \quad \text{AW} = \text{CsA} + \text{C}_4\text{AF} + 0,2\text{C}_2\text{S} + 2F \text{ MA} < 0,64$$

$$\text{AW} = \text{C}_2\text{F} + \text{C}_4\text{AF} + 0,2\text{C}_2\text{S} + 2F \text{ AW} < 20 - \text{poca costra AW}$$

> 35 - exceso de costra, inestabilidad

ÍNDICE DE SINTERIZACIÓN (I.S.)

$$\text{I.S.} = \text{C}_3\text{S} : (\text{C}_3\text{A} + \text{C}_4\text{AF}) \text{ (Usual: 2,6 - 4,5) menor = mejor}$$

ANEXO V

FORMULARIO PARA CEMENTOS



A) M.A. > 0,64
 $C_3S = 4,071 C - 7,6S - 6,718A - 1,43F - 2,852 SO_3$
 $C_2S = 2,8673 - 0,754 C_3S$
 $C_3A = 2,650A - 1,692F$
 $C_4AF = 3,04F$

USUAL	Δ Hidr.
45 ~ 65	120
10 ~ 30	60
5 ~ 15	320
5 ~ 12	100

B) M.A. ≤ 0,64
 $C_3S = 4,071 C - 7,63 - 4,479A - 2,859F - 2,852 SO_3$ $C_3S/C_2S > 0,5$ C.P.O.
 $C_2S = 2,8673 - 0,754C_3S$ $C_3S/C_2S > 2,0$ A.R.I.
 $(C_2F + C_4AF) = 2,10A + 1,702FC_3S/C_2S > 0,5$ EXPANSIÓN
 $C_4AF = 4,766A$

CARGA TÉRMICA EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL (C.T.S.T.)

$C.T.S.T. = (COMB. \text{ Kg/h x P.C.I.}) : (\pi D^2/4)$ máx: $3,46 \times 10^6 \text{ Kcal} / \text{m}^2\text{h}$

LONGITUD MÍNIMA DE LA ZONA DE SINTERIZACIÓN (L.M.)

$L.M. = C.T.S.T. / 0,3 \times 10^6$ (en metros)

RELACIÓN ÁLCALIS /SULFATO (R.A.S.)

$R.A.S. = SO_3 : (Na_2O + 0,5 K_2O)$ $(0,6 < RAS < 1,4)$

MÓDULO DE SULFATOS (M.SO3)

$M_{SO_3} = (SO_3/SO) : [(K_2O/94) + (Na_2O/62) - 2 (CI / 3 \cdot 5,5)]$
 no hay problemas si: $0,83 < M_{SO_3} < 1,00$.

REACTIVIDAD DEL CRUDO (DE F.L SMIDTH)

% CaO libre (1400°C) = $0,31 (FSC-100) + 2,18 (MS-1,8) + 0,73Q_{44} - 0,33C_{125} - 0,34 NQ$
 % CaO libre (1500°C) = $0,21 (FSC-100) + 1,59 (MS-1,9) + 0,40 Q_{44} - 0,22 C_{125} - 0,08 NQ$

DATOS TÉRMICOS

% Exceso de aire = $(95 \times O_2) / (21 \times O_2)$ en el analizador
P.C.I. = 8100 C + 28600 (H-O₂ / 8) + 2500 S - 600 H₂O (Kcal/Kg)
 Visc. del Combust. = 2 a 25 °E = 11 a 17 CSTK = 80 a 95 S seg = 65 a 90 Red.
 Demanda de Aire = 1,165 Nm³ / 100 Kcal
 Velocidad Aire Primario = Combust. Líq.: 60 ~ 120 m seg Gas: 70 ~ 250 m/seg
 Carbón: 60 ~ 80 ms
 Dilatación Línea $L_2 = 12 \times 10^{-6} \times \Delta t \times L_1$

ANEXO VI
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₃S O ALITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Incremento en el contenido de la alita, disminuye en belita y cal libre.	Incrementa enucleación de la alita añadiendo 0.5% C ₃ S (menos de 20nm) para mezcla cruda.
Abundante alita, escasa belita, abundante cal libre	a) Saturación de cal demasiado alta b) Temperatura de dimerización muy baja
C ₃ S fluctuando ampliamente en el clínker y las condiciones de polvo del horno	Descarga periódica de cargas de sílice que son el resultado de las concentraciones de sílice en la molienda de material crudo seco y las consecuentes avalanchas de calcita fina.
Incremento en el porcentaje de alita y tamaño del cristal, reducción en el porcentaje de belita, descomposición de C ₃ A.	Incremento en la temperatura de quemado y el cristal tiempo con T = 1450°C a 1750°C y tiempo sobre 800 segundos.
Alita escasa, belita abundante, ausencia de cal libre	Saturación de cal demasiado baja
Incremento en la abundancia de alita y belita	Incremento en el contenido de TiO ₂ en el clínker
Decrecimiento pronunciado en el contenido de la alita	Enfriamiento lento bajo condiciones de reducción.
Cristales de alita y belita muy grandes (promediando o excediendo 100 μ m),	Quemado con aceite de combustible que contiene 2.5 a 3.5% de sulfuro
Alita extremadamente grande y gruesa (100 - 200 μ m),	Contaminación de considerables cantidades de Na ₂ O, K ₂ O, y SO ₃ en el clínker.
Cristales de alita grandes y gruesos, desarrollándose en caras de romboedros	Cristalización lenta
Alitas grandes con pequeñas inclusiones de ferrita fina y cristales de aluminado	Resultado de la quemazón a 1450°C
Cristales de alita apilados	Altas temperaturas
Cristales de alita, granular mostrando fuerte crecimiento perpendicular a base pinacoidal (0001) debido al desarrollo de caras piramidales; solamente variedad T ₂ ; incremento concomitante en el tamaño de la belita	Recristalización de la alita durante la retención por 120 minutos en 1600°C; la mezcla es baja en grado de súper saturación.
Cristales tubulares de alite que indican el crecimiento paralelo a la base pinacoidal, exclusivamente variedad M ₂	Recristalización de la alita durante la retención por 5 minutos en temperaturas de 1600°C; la mezcla es altamente supersaturada.
Cristales xenomórficos	Bajas temperaturas
Alitas grandes	Llama prolongada, proporción de calentamiento lento; caliza en bruto o calcita en alimento; cuarzo en bruto, largo tiempo de espesamiento en recubrimiento de cementos.

ANEXO VII
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₃S O ALITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Alitas grandes	Extenso tiempo de quemado, temperatura más alta, ambiente pobre de cal en los alrededores de La belita; mezcla cruda en bruto; y líquido de alta velocidad debido a alcalinidad o sulfato; cáscara porosa y de extremo quemado duro en el nódulo del clínker.
Cristales de alita relativamente grandes, en cierta forma, redondos.	Clínker quemado bajo condiciones de reducción, retirado del horno a los 1350°C, enfriado al aire.
Tamaño incrementado de la alita	La masa cruda en bruto, cuarzo en bruto, aumenta en temperatura de encendido, decrece en fuerza.
Cristales de alita densamente condensadas	Derivadas de una belita grande en nidos de sílice en bruto
Alita canibalística (fundido)	Tiempos de espesamiento erráticos y la impredecible respuesta (Reeves, Muralla, y McNabb, 1984); el nivel de actividad reducido (Dorn, 1955)
Cristales del alita relativamente grandes, típicamente corroídos; matriz bien diferenciada	El clínker quemado bajo condiciones de oxidación y enfriado a 1250°C en el horno. (Sylla, 1981)
Cristales de alita y belita relativamente grandes y rango estrecho de variación del tamaño, menor que la reactividad promedio	Quemado con gas natural (Hawthorne, Richey, y Demoulian. 1981)
Cristales del alita grandes	Granos grandes de cuarzo en mezcla cruda: M1 desarrollo durante prolongado calentamiento, abundante SCH (Maki y Goto, 1982): mucho tiempo de quemado relativo a la duración de la llama (Hansen, carta, 1985)
Cristales grandes de alite en agrupaciones	Granos derivados de los nidos de belite cerca del tamaño crítico (44 μ m) o la temperatura más alta de quemado (Fundal, 1980)
Alita en concentraciones, pequeños cristales (10 μ m) menor f - CaO o belita en el mismo conjunto	Granos de marga cerca de la composición de cemento (Fundal, 1980) :
Alita en bruto (promedio = 5° a 60 μ m) con unas pocas inclusiones grandes	La llama de carbón por más tiempo (Kramer, 1960)
Tamaño de la alita incrementado, densificación del clínker	Proporción de alúmina relativamente más baja (Long, 1982a)
Alita y belita tornándose en bruto	Clinker a temperaturas más altas para temperatura demasiado prolongada o la temperatura de sinterización está también alta

ANEXO VIII
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₃S O ALITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Tamaño de alita y belita incrementado, belita deformada, baja birrefringencia de alita.	Llama divergente polvoriento y oxidativa (Campbell y Weiss, 1987)
La cantidad de alitas pequeñas decrece, alitas de tamaño grande y moderado aumentan.	Quemado lento a temperatura media (Ono, Kawamura, y Refresco, 1968,; Ono, 1980d)
Cristales de alita idiomórficos de grande a muy grande.	Correlacionado con el incremento de SO ₃ contenido en laboratorios de clinkers de baja alcalinidad; viscosidad reducida de fusión; pérdida de fuerza (Dreizler, Strunge, y Knófel, 1985)
Alita y belita son mayores que 30 μ m	Las irregularidades durante la quema no hacen ninguna influencia tan notable en la fuerza de mortero.
Alita y belita Tipo I mayor que 30 μ m	Alta fuerza de mortero en 28 días
Alita más de 20 μ m y el nido del belita denso	Numerosos granos de cuarzo más grandes que 100 μ m
Alitas grandes adyacentes al nido de la belita	Refleja composición gradiente de belita a alita con muy pocas fases intersticiales.
Cristales del alita grandes cerca de belita	Área circundante baja en cal.
Alitas de más de 20 μ m y belita euhedral. Tipo I	Clínker bien proyectado, alta fuerza del mortero
El tamaño de la Alita fluctúa por factor de dos a la distancia de 100-200 μ m	Insuficiente difusión debido a temperatura baja como un resultado de quema demasiado breve.
El tamaño de Alita disminuye, la abundancia de la alita aumenta	Incrementa temperatura de quema de 1500°C a 1700°C
Gran Diferencia en tamaños de alita y belita en clinkers individuales	Encendido no uniforme: cambios en el consumo de combustible. SO ₃ , y circulación de álcali (Tsuboi y Ogawa, 1972)
Cristales del alita pequeños vs. cristales grandes de Alita	Rico en cal vs. Regiones ricas en sílice en el clínker (Bye, 1983)
Variación del tamaño de alita	Nidos absorbidos o no homogeneidades anteriores (Gille y otros, 1965)
Reducción del tamaño de alita	Creciente volumen de alimento a través del horno, retracción de la cañería de quemado e incremento en aire primario (Brugan, 1979)
Disminución en el tamaño de cristal de alita	Incremento en la proporción de alimentación (Jany, 1986)
Alita vulgarmente cristalino rodeado por alita de grano más fino y libre de cal.	El cuarzo bruto y el factor de saturación de cal particularmente alto que convierten el nido anterior de belita a alite (Miller, 1980)

ANEXO IX
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₃S O ALITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Granos pequeños de alita	Fuerza relativamente rápida. (Kramer, 1960)
Cristales delgados en forma de tabla	SiO ₂ en mezcla, fase Líquida rica en hierro Gouda, 1980)
Cristales de alita cilindrados grandes en matriz eutéctica finamente cristalina de alita y C12A7 (halogenada)	Clínker fundido, rápidamente enfriado a temperaturas de 1720°C (Maki y otros, 1984)
Cristales pequeños delgados de alita, desarrollado en base pinacoidal (0001)	Cristalización rápida (Ono, Kawamura, y Refresco, 1968)
El tamaño de la alita es pequeño de la variedad M ₃ .	Cristalización rápida durante 10 minutos, retención a 1600°C (Maki y Goto, 1982)
Alita pequeña	Llama corta, ritmo de calentamiento rápido (Ono1981); zona de quemado menor que la llama (Hansen, Carta, 1985)
Cristales del alita pequeños relativamente numerosos	«20 sin el sulfato y aumenta en viscosidad de la fusión (Strunge, Knófel, y Dreizler, 1985)
Alita pequeña (promedio = 20 a 50 urn) que contiene varias inclusiones	Llama de aceite corta (Krámer, 1960)
Cristales del alita pequeños	Quema de materia cruda muy fina a temperatura baja; partículas de alimentación de sílice inferiores a 50 pm (Long 1982a); tiempo de espesamiento corto en cementos bien recubiertos (Long, 1984a)
(a) alita Pequeño (15 um) (b) alita Moderado (15-30) um (c) alita Grande (30-60) um	(a) alimento crudo fino o clínker medio-quemado (b) Clínker bien quemado (c) Alimento crudo en bruto (Ono, Kawamura, y Refresco, 1968)
El tamaño de cristal de alita 70 - a 100-Mm	Tamaño óptimo para efecto más grande en las propiedades de cemento (Okorokov, 1975)
El tamaño de cristal de alita TO a 90 um; tamaño 20 a 70 um	Tamaño óptimo de materiales crudos blanquecinos; tamaño óptimo de marga + arcilla (Fataliev, 1965)
el tamaño de cristal 20 - a 40 um	Tamañoóptimo (Butt and Timashev, 1965)
Láminas delgadas de alita pueden ser adjuntadas a cristales compactos, crecimiento esquelético excesivo en cristales más viejos.	El exceso de SiO ₂ en fusión (principalmente rico en hierro; incruenta el flujo medio; o la temperatura de quema muy alta (Gille y otros, 1965)
Incremento en la cantidad alitas pequeñas, disminución en alitas grandes	Rápida quema a temperatura alta (Ono, Kawamura, y Refresco, 1968)
Aumente en el tamaño e idiomorfismo de la alita	Incremento en el contenido de TiO ₂ en clínker(Knófel, 1977)
Disminuye el tamaño de la alita, a temperaturas más altas de quemado.	La proporción de alúmina relativamente más alta (Long, 1982a)

ANEXO X
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₃S O ALITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Disminución del tamaño del alita	Rápido quemando, produciendo un crecimiento en la proporción de cristales más lento que la formación de núcleos (Extremo, Timashev, y Starke, (1973)
Aumento el tamaño del alita e idiomorfismo	Viscosidad rebajada de la fusión que es el resultado del incremento en el sulfato del clínker y el grado de sulfatización (sulfato a la proporción de álcali) (Strunge, Knófel, y Dreizler, 1985)
Birrefringencia = 0.004-0.007 en alita normales pero llega a 0.010	Birrefringencia máxima en clínker rico en Na, O, SOS, y MgO quemado a temperatura alta (Ono, Kawamura, y Refresco, 1968)
Alita con alta birrefringencia	Forma monoclinica imperfectamente invertida, parcialmente romboidal (Ono, 1981). Los hornos grandes, largos, altos niveles de MgO, la temperatura de la zona de quemado es alta (Dorn, comunicación personal, 1985)
Cristales del alita grandes con alta birrefringencia	MgO alto, en materia cruda (4 a 5%), temperatura alta, llama larga (Ono, carta, 1978)
Birrefringencia de Alita = 0.005 a 0.006	Forma M ₃ rico en MgO (Maki y Goto, 1982)
Birrefringencia de Alita = 0.003 a 0.005	Formas Híbridas (M ₁ y M ₃) (Maki y Goto, 1982)
Birrefringencia de Alita = 0.003	Forma M ₁ , relativamente rico en SO ₃ (Maki y Goto, 1982)
Birrefringencia de Alita = 0.0026	Variedad T ₂ formada durante encendido de 1 20 minutos (Maki, Haba, y Takahashí, 1983)
Vinculación simple en C ₃ S puro	Desarrolla como resultado de transición romboedra a monoclinica en aproximadamente 1050°C durante el enfriamiento (Hofmánnner, 1973)
Vinculación cíclica de tres pliegues de alita sintetizada a alta temperatura y enfriada rápidamente es más rústica que la textura de alita formada a temperatura baja y enfriada lentamente.	El refinamiento de agrupamiento depende de la temperatura inicial del enfriamiento rápido, que está todavía en la región de estabilidad de la forma de temperatura alta y no depende de la temperatura máxima o de la duración de la calefacción (Ono, 1974)
Vinculación Polisintética (muy menuda) en el alita	Alita triclinico debido a la falla de absorción de suficientes impurezas en temperaturas alta (Ono 1975)
Vinculación Polisintética en C ₃ S puro	Desarrolla como resultado de transición monoclinica a triclinica a aproximadamente 980°C durante el enfriamiento (Hofmánnner, 1973)

ANEXO XI
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₃S O ALITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Alita dividido en zonas con inclusiones como de puntos	Clínker quemado con llama larga (Ono, 1981)
Alita dividido en zonas con B más bajo en la parte interna	Quemado lento a temperatura alta (Ono, Kawamura, y Refresco, 1968)
Alita dividido en zonas	Las condiciones variables de quemado (Gille y otros, 1965); baja temperatura central, el crecimiento excesivo de temperatura alta (Ono, 1980d y Chromy, 1967); el calentando lento a temperatura alta (Ono, Kawamura, y Soda, 1968); más fresco a la recirculación del horno (Long, 1984b);
Cristales de alita con pequeñas inclusiones líquidas (intercrecimiento de ferrita fina y aluminato.	Precipitación de alita al 1450°C durante 30 minutos de cocimiento.
Reversión de la zonificación (M-i crecimiento excesivo M ₃)	Rápida precipitación de alita de una fusión
Las zonas en alita se ensanchan hacia los nidos de belita cercanos.	Calcio y sílice abundante en el área de nidos
Alita con perno o bandas como lazadas	Inversión monoclinica a triclínico t ₂ agrupado
La alita descompuesto muestra manchas oscuras en la sección delgada.	Condiciones moderadamente reducidas
Refeción difusa de los interiores de alita (terroso)	Enfriamiento muy lento
Alita reflejado difusamente, apareciendo inestable y negro	Resiste la fuerza del mortero en 28 días por 1% a más de 5%.
Alita idiomorfo	Enfriamiento relativamente rápido
Alita idiomorfo matriz vítrea	Clínker quemado bajo condiciones de reducción u oxidación, retirado de horno a temperaturas más altas que 1230 °C y apagado en agua
Cristales de alita y belita de borde recto, continuo, vidrio intersticial uniforme.	Enfriamiento extremadamente rápido (apagado en agua)
Clínker como coque, alita redondeada (más de 1000Mm) y alita como ameba.	Incremento de SO ₃
Alita verde esmeralda, belita verde amarillento	Presencia de cromo
Alita cafesina, belita azul	Manganeso
Alita café	Mineral férrico en bruto o fragmentos de hierro en mezcla cruda
Alita amarillo brillante, belita café	Cobalto

ANEXO XII

INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₂S O BELITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Grandes Proporciones de belita	Bajo Factor de saturación en cal(Long, 1982; Fundal, 1980)
Alita y belita iguales	Factor de saturación de cal = aproximadamente 88% (Fundal, 1980)
Agrupaciones de Belita: a) Un grupo bien definido, b) Un grupo limitado difuso. c) Vetas d) Manchas	Clasificación de concentraciones de belita(Hofmanner, 1973)
Nidos de belita	Escasez de residuos, tamaño de granos de cuarzo excesivo, presencia de feldespato y residuos de la explosión del horno (Guie potros, 1965)
Nidos de belita	Material crudo mezclado inadecuadamente, caída de la fuerza del mortero (Tsuboi y Ogawa, 1972)
Nidos de belita	Granos de cuarzo vestigial (Krámer, 1960)
Nidos debelita redondos, compactos, de cristales grandes, poligonales , bien laminados	Cuarzo grande o pedernal, +44 μ m (Fundal, 1980)
Nidos debelita porosos en el centro con cristales relativamente grandes, consistentemente condensados, produciendo alitas grandes a temperaturas más altas si la cal está disponible.	Cuarzo bruto en alimento (Long, 1982a)
Nidos de Belita posiblemente con poro en el centro	Bajas inclusiones de la cal como astillas de cuarzo, gotas de los residuos (Gille y otros, 1965)
Vidrio en centro del nido de belita, grandes alitas adyacentes al nido de belita	SiO ₂ , Residual , un componente frecuente de residuos insolubles (Fundal, 1980)
Vidrio 028 en el centro de los nidos del belita	Los granos de cuarzo son grandes o pobremente quemados (Tsuboi y Ogawa, 1972)
Belita estrechamente espaciado	Granos de cuarzo grandes en mezcla cruda (Tsuboiy Ogawa, 1972)
Cristales del belita firmes en nidos con fase líquida esparcida	Cuarzo bruto (Mister, 1981,; Gilteyotros, 1965)
Grandes acumulaciones del belita	Formación inestable del anillo, especialmente en clinker rico en sulfato, si no hay granos de cuarzo en la mezcla cruda (Fundal, 1980); segregación de materia cruda (DeLisle, 1979), Pobre desarrollo de la fuerza en cementos bien encerados. (Reeves, Balley, y McNabb, 1984)
Las acumulaciones grandes de belita asociadas con volúmenes altos de cal libre	Alto factor de saturación de cal (Fundal, 1980)
Parches grandes de belita; nidos de belita de cuarzo bruto.	Reacción selectiva de los componentes de la mezcla cruda: arcilla a temperaturas más bajas que para el cuarzo, mezcla moscovita y feldespato- Ca que resultan en nodulación temprana (micromódulos) y polvo de clínker con alto factor de saturación de cal (Fundal, 1980).

ANEXO XIII
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₂S O BELITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Belita redondeados en nidos espesos	Quemado intenso (Tsuboi y Ogawa, 1972)
Nidos de Belite con bordes encorvados y la fase líquida muy pequeña	Concentración de componentes de silicio, (falta de cal) (Hofmanner, 1973)
Número grande de agrupaciones de belita	Decrece el coeficiente de pulverización (Dom, 1985)
La región periférica anular de belita y el flujo de material rico en nódulo del clínker	Disposición retardada de las capas de residuos de carbón. (Long, 1982)
Concentraciones de Belita en la superficie del clínker, cal libre en el interior del clínker.	La expulsión de residuos de carbón en nodulos de clínkers ya formados; efectos similares en recubrimientos y anillos del clínker (Pollitt, 1980)
Nidos de Belita (flojamente condensados) con fusión rica en aluminio.	Granos aluminosilicatados en bruto, tal vez un feldespatos (Milter, 1980)
Agrupaciones en de belita de forma Amoeboidal (cristal > 30 a 40 um)	Marga o esquisto calcifico (35% CaCO ₃) con feldespatos en un una fuente cruda prenoduizada (Fundal, 1980)
Agrupaciones de Belita rico en fase líquida, los cristales relativamente pequeños	Partículas del esquisto en bruto (Long, 1982a)
Disminuye los nidos de belita, aumentan en fase líquida	El hierro agregado reduce la viscosidad líquida y promueve la reducción de nidos del belite (Dom, 1985)
Nidos de Belita ricos en fase de fusión (flojamente condensado)	Partículas argiláceas no de cuarzo o residuos de combustible (Miller, 1980)
Nidos de belita, denso o herméticamente condensados con muy poco material intersticial.	Las concentraciones de SiO ₂ en la forma de cuarzo grande y/o escoria (Fundal, 1979)
Nidos irregulares (algunos bastante grande) de belita que contiene cantidades considerables de fusión intersticial	Granos de la marga bajos en cal, grandes, (menos de 60% CaCO ₃) y/o granos de feldespatos grandes (Fundal, 1979)
Disminución en los nidos del belita	Incremento en la cantidad de arcilla o esquisto en la mezcla (Frederick, 1985)
Eliminación de agrupaciones del belita	Incremento en la temperatura máxima del horno de 1454° a 1516°C (Rowe, 1995)
Agrupaciones de Belita con cristales perifericos pequeños	Granos grandes de dióxido (CaMgSi ₂ O ₇) (Fundal, 1980)
Áreas grandes de belita y flujo con nódulos de clínker altos en cal que se adhieren o empotrados.	Expulsión muy retardada de los residuos de carbón o insuflación de alimento crudo. (Long, 1982 ^a)
Clínkers con belitas ricos en el flujo en el centro	Fragmentos de recubrimiento del horno (Long, 1982 a)
Vetas de Belita, generalmente en áreas periféricas de clínker pequeños.	Expulsión de residuos de carbón limitado (Hofmanner, 1973)
Capas de Belita en el clínker, el clínker es heterogéneo	El proceso de humedad, la mezcla cruda deja el sistema de cadena todavía húmedo.
La segregación de belita, digitación, gama polimórfica, exsolución en atita, las áreas reducidas con inclusiones metálicas y oldamita (Ca, MnS); variación en porcentajes de la fase.	Asimilación de residuos de carbón altos en sílice y alúmina (Kihara, 1988)

ANEXO XIV
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₂S O BELITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Betas de Belita	En homogeneidad local debido a mezcla cruda arenosa.
a) Betas de belita	a) Contaminación de residuos de carbón en la superficie del clínker durante el quemado resulta en un área pobre de cal y en belita b) Productos recubiertos de baja abrasión en las vetas de belita y otros.
(b) Las Zonas de composición normal entre las betas de belita y la superficie del clínker	
Cascaras de belita en los clínkers; cristales de varios tamaños	Proceso semi - seco, el combustible de carbón con 1 5% a 20% de residuos y o. 5% a 1 .5% de sulfuro
Belitas relativamente grandes en clínker finos, belitas pequeñas en nódulos	Tiempo comparativamente largo en la zona de quemado para clínker finos.
Belitas grande con superficie exterior ásperas	Sobrecalentamiento o quemado excesivo (Dom, 1979)
Grandes Cristales de belita	Temperatura de formación de líquido bajo prolongado calentamiento (Makí y Golo, 1981); cuarzo en bruto y cuarzo en alimentación (Akatsu y Monna, 1966)
Incremento del tamaño de la Belita, la abundancia de belitadiminuye.	Aumento de la temperatura de quemado 1500°C a 1700°C (Suzukawa, Kono, y Fukunaga, 1964)
Tosquedad de la belita, aluminato, y aluminoferrita; perfiles irregulares de la belita, alita idiomorfa.	Clínker quemado bajo condiciones de oxidación, enfriado a temperaturas debajo de 1250°C en el horno (Sylla, 1981)
Inclusiones del belita relativamente grandes en alita, los cristales del belita grandes (45 un)	La abundancia de cuarzo bruto en alimento; el belitay alita se pusieron muy más pequeños en el uso sílice de tierra finamente desmenuzable (Dom, 1980)
Belita grande, de forma irregular	Enfriamiento muy lento (Ono, Kawamura, y Soda, 1968)
Belita está en 1-4-um diámetro en los 1300°C pero crece a cristales de 20-40 um	Recristalización durante el quemado a temperatura alta (Ono, Kawamura, y Soda, 1968)
Estructura geométrica laminar multidireccional de la belita	Formada y tornándose tosca durante la transición de alfa a alfa prima durante el enfriamiento (Hofmanner, 1973); el clínker se quemó a temperatura más alta que 1420°C (Ono, 1975)
Incremento en proporción de laminaciones cruzadas en cristales del belita	Aumento en el volumen de TIO ₂ en el clínker (Knofel, 1977)
Belita ambarino con micro estructura Tipo I (laminado multidireccional)	Belita guardado a "temperatura del alfa prima en horno de recubrimiento (Ono, 1981)
Perfilado, estructura laminar ancha	Belite de beta distorsionada, la mezcla cruda rica en Fe ₂ O ₃ , y alkalies (Gouda, 1980)
Belita Tipo descolorido II (estriatación paralela)	Belita se sostuvo a "temperatura alfa-prima" en el horno de recubrimiento (Ono, 1981); quemando debajo de 1420°C (Ono, 1975)

ANEXO XV
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₂S O BELITA

OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Belita redondeado sin estructura laminar, masa de tierra finamente incrementada	Clínker enfriado rápidamente (Gille y otros, 1965)
Cristales de Belita sin las rayas, normalmente con grietas y pequeñas imperfecciones	Enfasis durante apagado rápido en agua (Gille y otros, 1965)
Belitas no agrupadas	SO ₃ más de 1% (Tsuboi y Ogawa, 1972)
cristales de belita sin estructura (reflexión uniforme)	Enfriado en agua sumamente rápido, como en laboratorio (Gille y otros, 1965)
Agrupación Polisintética en Belita	Formado durante el enfriamiento muy lento como resultado de alfa prima a la transición de beta (Hofmänner, 1973)
Belita con concentración polisintética	Proporción de enfriamiento normal (Kramer, 1960)
Belita desigual con inclusiones como de puntos	El clínker quemó con llama larga (Ono, 1981)
Cristales desiguales de belita	Enfriamiento Muy lento (Kramer, 1960)
Belita desigual sin la degradación de alita	El enfriamiento lento a cierta proporción de alúmina a hierro; también afectado por el contenido de álcali (Long, 1984, presentación inédita de ICMA)
Belita desigual	Inversión de alfa a alfa prima en contacto con fusión y el enfriamiento lento (Ono, 1981)
Belita desigual	Enfriamiento y resolución lento y (Gille y otros, 1965; Midgley, en Taylor, 1964; DeListe, 1976, 1979)
Belita con extensiones de estructura laminar, deterioración superficial de alita a belita, la matriz cristalina relativamente tosca	Enfriamiento lento en el horno debido a la excesiva insuflación (Hoodmakery Franklin, 1995)
Crecimientos excesivos de Belita	Enfriamiento lento (Gille y otros, 1965); el enfriamiento muy lento (Lee, 1982)
La superficie de la belita áspera, estructura laminar prominente, secciones segmentadas como dedos.	Condiciones de reducción (Dom, 1979)
Belita secundario, corrosión de la cal libre de alita	Enfriamiento lento (Gille y otros, 1965)
La erosión de cristales del alita para mezcla interna de belita y pseudo mórlica de la cal libre después de la alita	Enfriamiento lento, temperatura a aproximadamente 1200°C durante un tiempo apreciable (Long, 1983)
La erosión de cristales de alita para formar la superficie de belita; belita como cabeza de alfiler en la matriz	Enfriamiento lento; proporción de alúmina sobre 2.5; hasta 10% de reducción en fuerza de 28-días (Long, 1983)
Belita en forma de gotas en fase líquida; normalmente asociado con peri clase dendrítico.	Exceso de SiO ₂ (Hofmänner, 1973)
Belita secundario, cal libre, peri clase,; problemas de autoclave	Falla de combustibles sólidos (residuos volátiles, esquitos carbonosos, residuos de carbón como parte de mezcla cruda) para quemarse antes de la zona de granulación

ANEXO XVI

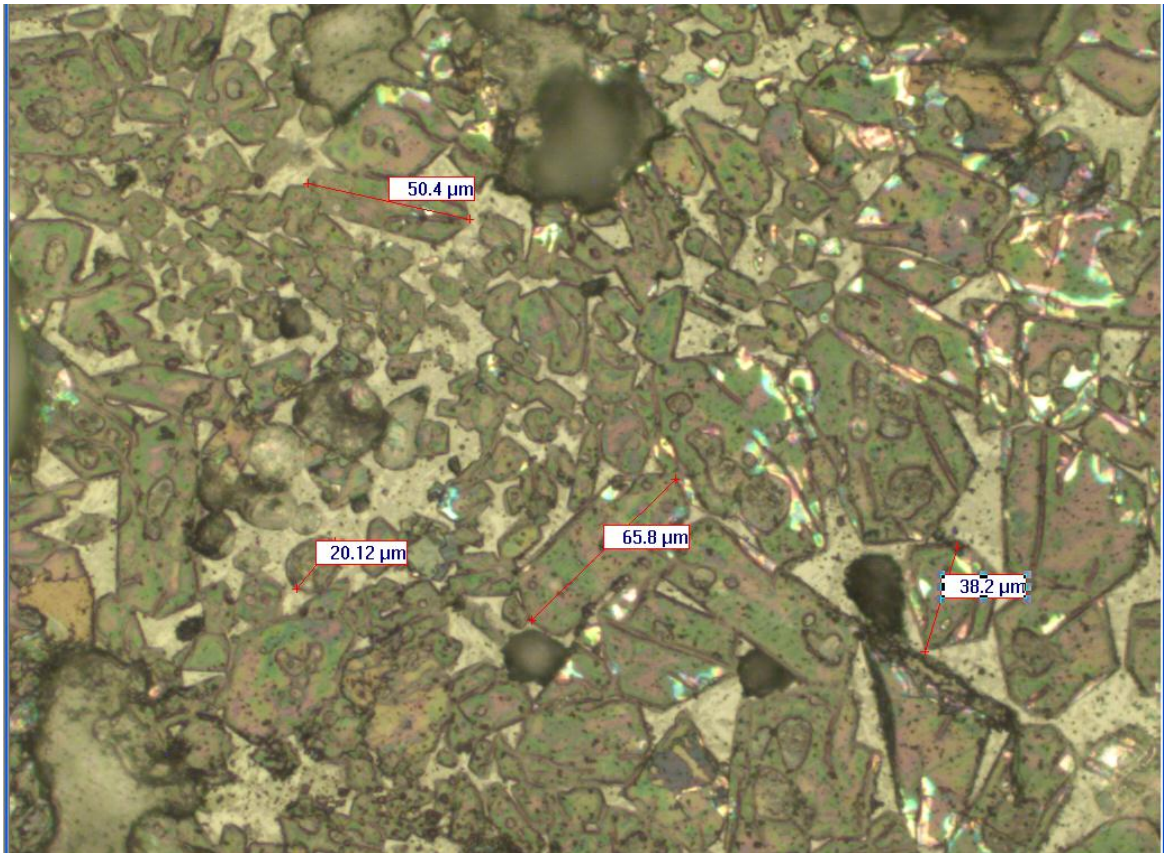
INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₂S O BELITA

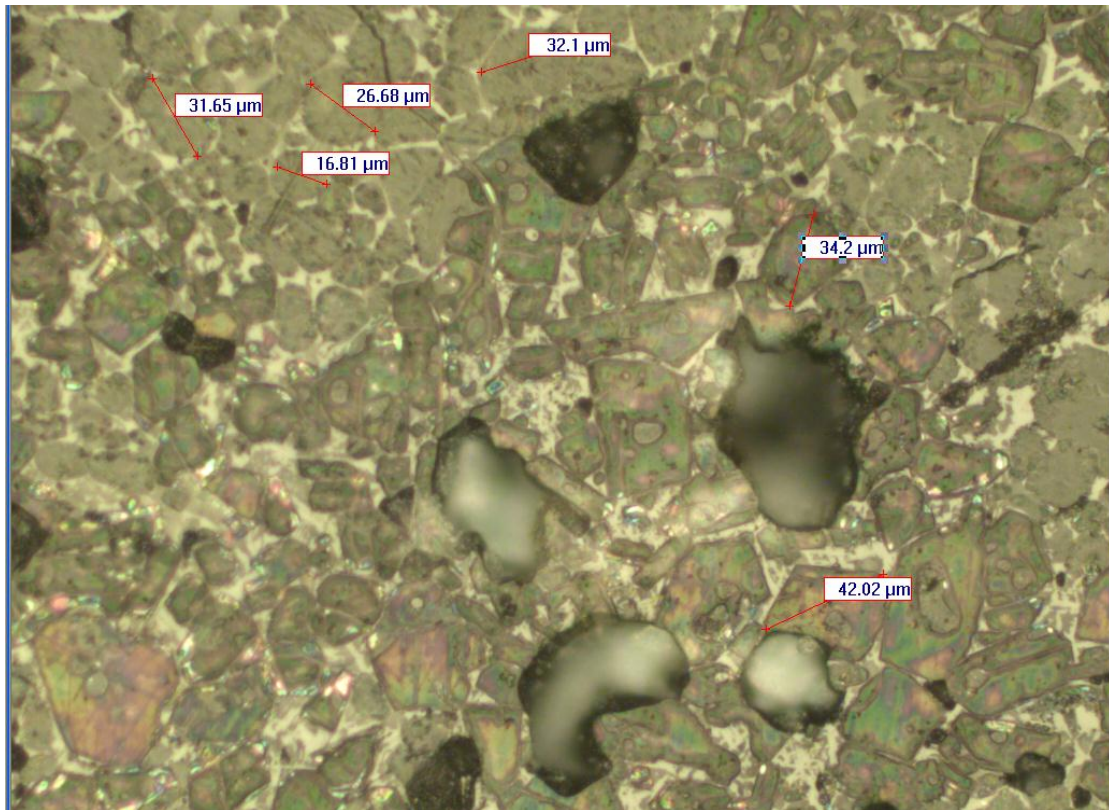
OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Belita secundario en la matriz	Enfriamiento lento en el rango de temperatura >1300°C (Scheube M987)
Belita secundario que cubre en alita	Resorción en la fase Líquida (Hofmänner, 1973); enfriamiento lento (Midgley, en Taylor" 1964)
El crecimiento interno mirmequitico de belita en alita, pseudomorfo de cal libre, y remanentes de alita no descompuesta.	Enfriamiento lento vía descomposición; a veces acelerado por iones extraños, exceso de alkalies, Fe++ incluido, y las condiciones de reducción moderadas (Gille y otros, 1965)
Granos de belita con distinta fisionalidad planos.	Belita de la gamma y las condiciones reduciendo (Rajczyk, 1990)
La estructura laminar de Belita en alitas rómbicas planas, normalmente tres grupos de intersección.	Condiciones de reducción en la zona de sinterización. (Gille y otros, 1965)
Pequeñas inclusiones sugestivas de belita de estructura lamina en alita.	El suministro de aire deficiente en las zonas de sinterización (Gille y otros, 1965)
Desmembrado, cristales de belita finamente dendríticos	Cristalización excesiva de belite (Gille y otros, 1965)
Belita al lado de la cal libre clínker normalmente quemado	álcali de Belite (Gille y otros, 1965.; DeListe, 1976)
Belita irregular	Quemado excesivo (Prout, 1979)
Belita oculta	Demasiado MgO, ZnO, y otros que reducen la viscosidad JTsuboi y Ogawa, 1972)
Estructura laminar ancha en belita, alita corroído, grietas de enfriamiento	Álcali en el clínker (Gille y otros, 1965)
Cristales del belita grandes, descolorido, baja berrifringencia (0.012-0.015), estriación afilada, la estructura tosca tipo sánduche de alfa y beta vista bajo nicoslos cruzados, la superficie de cristal libre de la fase férrica	álcali de Belita (Ono, carta, 1977)
Anillo de belita claro	Los belite del alfa, ricos en álcali, derivados del feldespatos fundido que reaccionó con f-CaO (Ono, 1981)
Belita dendrítica	Alcali alto (K-feldespatos) en mezcla cruda (Gille y otros, 1965); presión o volumen de aire primario bajo, excesiva temperatura de la zona de quemado, ritmo de enfriamiento lento, alto nivel de MgO, 4,5% aproximadamente (Dorn, comunicación personal, 1985)
Aumento en la cantidad de alita, cristales con proporción de aspecto más alto y el tamaño más pequeño, disminuye en el porcentaje de belita, agudeza adecuada, en forma de dedo o de hoja.	Flúor en la presencia de SO ₃ en mezcla cruda (Wei y Míngfen, 1988)
Alita que contiene K* puede tender a descomponerse	Sobre un cierto porcentaje de potasio de alite no forma, pero sí en cambio en belite y la cal libre (Woermann, 1960)
Cristales del belita claros	Enfriamiento rápido, ninguna exsolución de impurezas (Ono, 1975)
Belita amarillo pálido	Proporción de enfriamiento medio (Ono, 1975)
Belita anidado amarillo	Cuarzo bruto, falta de difusión de la cal en el nido (Dorn, 1985)

ANEXO XVII

INTERPRETACIÓN MICROSCÓPICA DE C₂S O BELITA

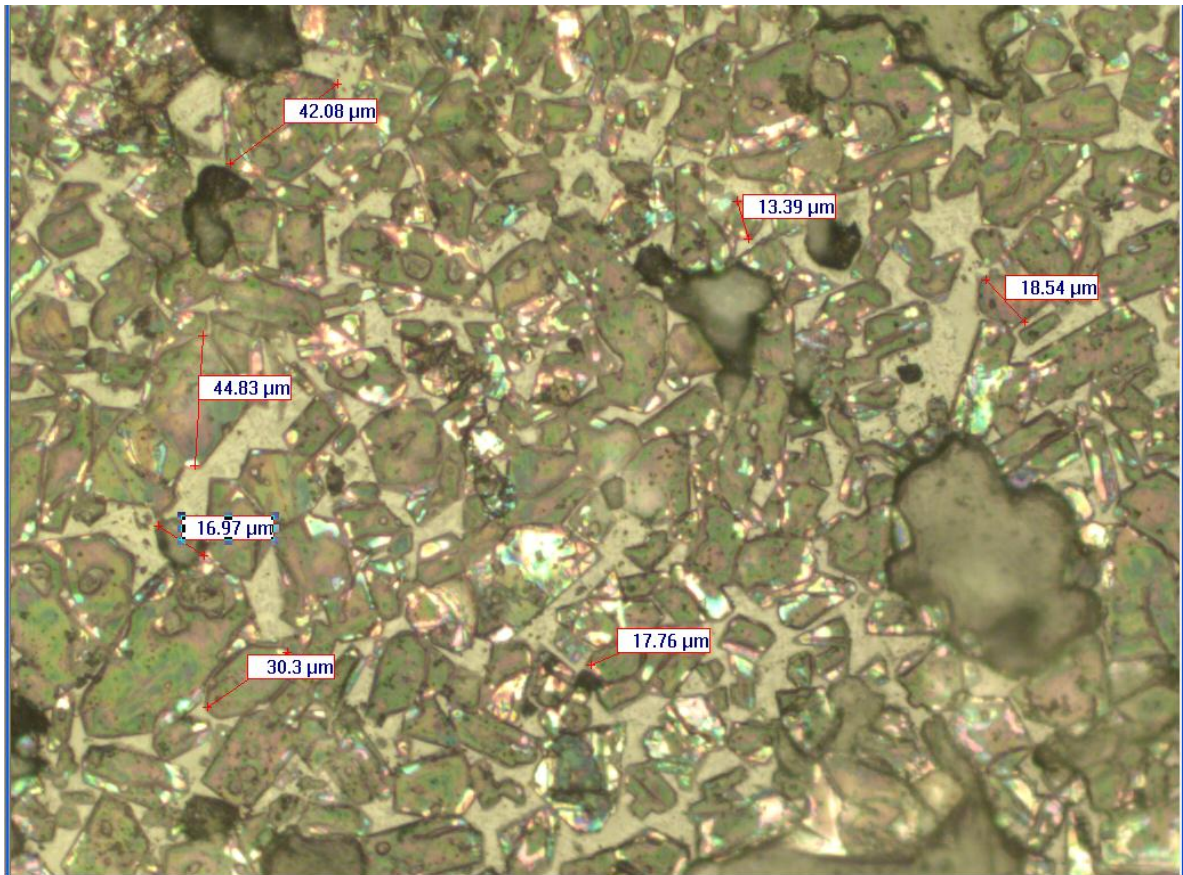
OBSERVACIÓN	INTERPRETACIÓN
Cristales de Belita de tipo normal microscópicamente pero con reflexiones de XRD extras	Belita de sodio o potasio estabilizado; alkalies en exceso o azufre (Tang y Garlner, 1986)
Belita descolorido, amarillo, castaño	Los porcentajes del alfa son de 15% a 30%, 10% a 25%, y 0 a 15%, respectivamente (Ono, 1981)
Belita amarillo barroso	Proporción de enfriamiento lenta (Ono, 1975); relativamente duro para moler si forma nido (Ono, en Dom, 1985)
Belita dividido en zonas con colores amarillos o barrosos en zona exterior	Las diferencias en la absorción de impurezas producida por alfa prima a la transición del alfa (Ono, Kawamura, y Soda, 1968)
Belita que contiene abundante forma de alfa, alita con birrefringencia alta	Temperatura alta y enfriamiento rápido; fuerza alta (Ono, Kawamura, y Soda, 1968)
La escasez de forma de alfa en belita	Enfriamiento lento, fuerza baja (Ono, Kawamura, y Soda, 1968)
Belita punteado, descolorido (cristales con dispersiones de articúlate internas)	Enfriamiento muy lento (Ono, 1981)
Puntos de impurezas en belita	Enfriamiento sumamente lento (Ono, Kawamura, y Refresco, 1968)
Grietas y hendiduras a lo largo de la estructura laminar de belita, descomposición parcial de los cristales de belita	Transición de Belita de beta a gamma durante el enfriamiento, debido a la solución sólida con iones extraños; enfriamiento insuficientemente rápido (Hofmann, 1973)
Desintegración debido a la transformación y empolvamiento de belita de beta a gamma. El nódulo no empolvado muestra la alite parcialmente idiomórfica, estructura laminar de belita en alita; cristales del belita grandes; matriz casi totalmente aluminada, hierro metálico, y periclase finamente granulado	4 horas de quemado en la atmósfera de reducción, aire enfriado, (Sylla, 1981)
(a) Belita de Gamma, empolvado	(a) Fe ⁺⁺ atrapado y condiciones de reducción;
(b) Los Granos con grietas y hendiduras	(b) Largo período de temperización ocurren en la escala del horno y resulta en empozamiento (Gille y otros. 1965)
Empolvamiento	Clínker medio quemado a baja temperatura, belite enfriado de la forma de alfa prima (Ono, Kawamura, y Soda. 1968)
Belita tipo I, con un pequeño exceso de MgO o quemado bajo condiciones de reducción	Disminución de fuerza hasta 5% (Tsuboi y Ogawa, 1972)
Gran cantidad de belita junto a cal libre	El contenido de álcali sulfato alto en la mezcla impiden la reacción de belite y la cal libre a alite en clínkeres de laboratorio (Dreizler, Strunge. y Knofel, 1985)
Laminación decreciente en belita, estabilización creciente de forma del alfa	Contenido creciente de Negro de clínker y el bajo grado de sulfatización (Strunge, Knofel. y Drazter, 1985)
Inclusiones de Belita en alita	Relativamente grande (12 a 13 μm) en clínker hecho con arena de cuarzo; 8 μm en clínker hecho con sílice de esponja (Donm, 1980); belita original residual (Castaño, 1948)

ANEXO XVIII**MICROSCOPIA DE CLINKER DOSIFICADO CON EL 1 % DE
CENIZAS RESOLUCIÓN 20X**

ANEXO XIX**MICROSCOPIA DE CLINKER DOSIFICADO CON EL 2 % DE
CENIZAS RESOLUCIÓN 20X**

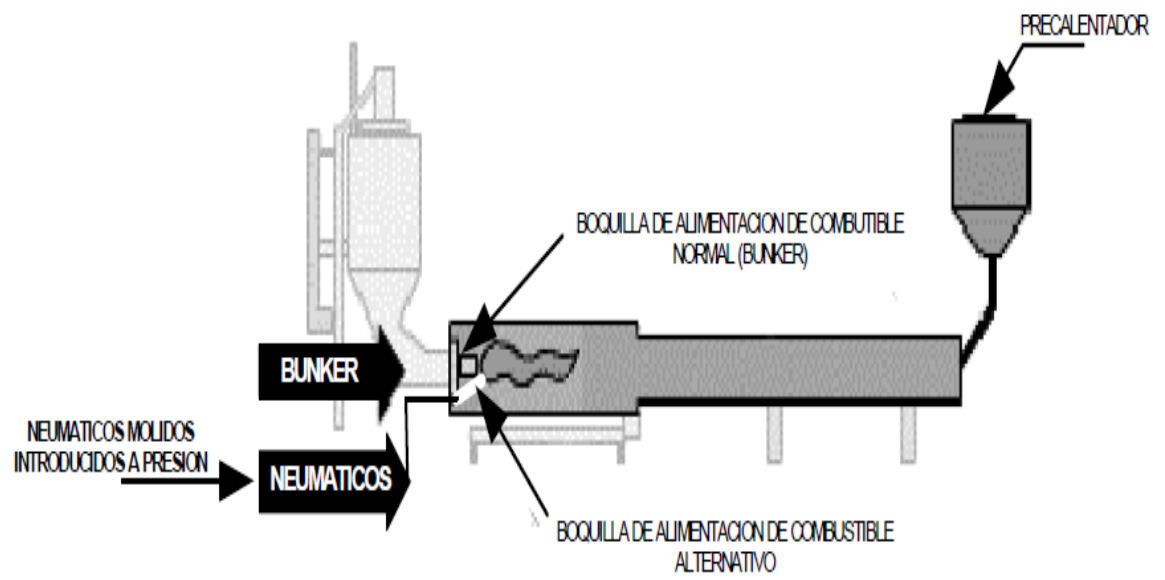
ANEXO XX

MICROSCOPIA DE CLINKER DOSIFICADO CON EL 3 % DE
CENIZAS RESOLUCIÓN 20X



ANEXO XXI

ESQUEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE ALTERNATIVO



ANEXO XXII

REPORTE EMNSUAL CALIZA MOLINO

CEMENTOS CHIMBORAZO				R E P O R T E M E N S U A L : C A L I Z A M O L I N O								nov-12			
CONTROL DE CALIDAD												DISTRIBUCIN: GT-JCC			
C O M P O S I C I O N : Q U I M I C A														M O D U L O S	
DIA	PF	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	TiO2	TOTAL	Título	Humedad	MS	MA
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8	36,5	13,1	2,30	140	45,4	0,74	0,19	0,35	0,17		100,1	810	2,8	3,54	164
9	36,5	12,6	2,45	149	45,5	0,68	0,18	0,37	0,15		99,9	813	3,0	3,20	164
10	36,0	12,9	2,50	160	45,5	0,70	0,22	0,36	0,16		100,0	813	3,0	3,16	156
11	36,0	12,8	2,63	155	45,6	0,67	0,22	0,39	0,16		100,0	815	2,8	3,06	170
12	36,0	12,8	2,50	153	45,7	0,67	0,25	0,36	0,16		100,0	816	3,0	3,17	163
13	36,2	12,6	2,50	150	45,7	0,77	0,22	0,36	0,17		100,0	816	3,0	3,15	167
14	36,0	12,8	2,50	157	45,6	0,79	0,17	0,34	0,16		99,9	815	3,0	3,14	159
15	36,0	12,7	2,50	150	45,7	0,79	0,21	0,36	0,17		99,9	815	2,4	3,18	167
16	36,2	13,0	2,40	140	45,6	0,74	0,20	0,35	0,17		100,0	816	2,4	3,41	171
17	36,5	12,8	2,30	140	45,7	0,75	0,18	0,34	0,16		100,1	818	2,8	3,45	164
18	36,5	12,3	2,42	140	45,9	0,76	0,23	0,33	0,15		100,0	819	2,8	3,21	173
19	36,0	12,8	2,40	161	45,7	0,77	0,21	0,36	0,16		100,0	817	2,8	3,19	149
20	36,5	13,0	2,60	170	44,7	0,71	0,15	0,32	0,18		99,9	815	2,0	3,02	153
21	36,0	13,0	2,67	161	45,3	0,69	0,17	0,33	0,15		99,9	810	2,4	3,04	166
22	36,0	12,8	2,60	160	45,6	0,75	0,16	0,32	0,16		100,0	814	3,2	3,05	163
23	36,0	12,6	2,67	169	45,6	0,75	0,19	0,34	0,16		100,0	814	2,8	2,89	158
24	36,0	13,3	2,40	150	45,4	0,75	0,17	0,33	0,17		100,0	811	2,8	3,41	160
25	36,0	13,3	2,40	140	45,5	0,73	0,17	0,34	0,15		100,0	812	2,8	3,50	171
26	36,5	13,0	2,30	140	45,4	0,75	0,16	0,32	0,16		100,0	815	2,8	3,51	164
27	36,0	13,0	2,40	150	45,7	0,75	0,16	0,32	0,16		100,0	816	2,8	3,33	160
28	36,0	13,3	2,40	150	45,4	0,73	0,18	0,33	0,15		100,0	810	2,8	3,41	160
29	36,0	13,0	2,53	162	45,5	0,75	0,19	0,34	0,14		100,0	813	3,0	3,13	156
30	36,0	12,8	2,33	152	45,9	0,71	0,18	0,33	0,13		99,9	82,0	2,8	3,32	153
31															
MEDIA	36,1	12,9	2,47	152	45,5	0,73	0,19	0,34	0,16		100,0	81,4	2,8	3,24	162
STD	0,2	0,2	0,11	0,09	0,2	0,03	0,03	0,02	0,01		0,1	0,3	0,3	0,18	0,06
MIN	36,0	12,3	2,30	140	44,7	0,67	0,15	0,32	0,13		99,9	810	2,0	2,89	149
MAX	36,5	13,3	2,67	170	45,9	0,79	0,25	0,39	0,18		100,1	82,0	3,2	3,54	173
Observaciones: del 1 al 8 de noviembre molino de crudo sin funcionamiento por daños en el eje motriz.															

ANEXO XXIII

REPORTE MENSUAL ARCILLA MOLINO

[illegible]

ANEXO XXIV

REPORTE MENSUAL CRUDO HORNO

CEMENTOS CHIMBORAZO												nov-12							
CONTROL DE CALIDAD												REPORTE MENSUAL: CRUDO HORNO							
COMPOSICION QUIMICA												MODULOS							
DIA	PF	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	TiO2	TOTAL	Título	STD	M:200	TM/H	SC	MS	MA	S. Alc.
1	35,0	14,5	3,8	2,7	42,1	0,76	0,46	0,20	0,18	0,39	100,0	75,6	0,3	13,0	41,0	89,9	2,23	1,41	0,32
2																			
3	34,2	15,1	3,8	2,7	42,2	0,75	0,61	0,22	0,23	0,28	100,0	75,2	0,2	11,3	27,0	87,0	2,34	1,43	0,37
4	33,8	15,3	3,8	2,5	42,3	0,76	0,70	0,24	0,26	0,27	100,0	75,4	1,2	10,4	21,0	86,6	2,41	1,50	0,41
5																			
6																			
7	34,0	14,8	3,8	2,4	42,5	0,78	0,79	0,26	0,32	0,25	100,0	76,1	0,4	9,2	21,0	89,5	2,38	1,57	0,47
8	35,1	14,5	3,5	2,5	42,7	0,75	0,32	0,26	0,20	0,26	100,0	76,2	0,4	19,7	28,0	92,2	2,43	1,42	0,39
9	35,0	14,5	3,5	2,4	42,8	0,75	0,27	0,25	0,17	0,28	99,9	76,3	0,1	18,7	43,0	92,4	2,46	1,46	0,36
10	35,1	14,4	3,5	2,5	42,7	0,74	0,33	0,25	0,18	0,28	100,0	76,2	0,2	18,4	44,0	92,6	2,40	1,40	0,37
11	35,0	14,4	3,5	2,6	42,7	0,76	0,34	0,26	0,16	0,28	100,0	76,2	0,2	15,0	50,0	92,5	2,36	1,34	0,37
12	35,1	14,5	3,5	2,4	42,8	0,74	0,29	0,24	0,15	0,28	100,0	76,3	0,1	16,1	48,0	92,7	2,45	1,46	0,34
13	35,2	14,5	3,5	2,5	42,7	0,75	0,24	0,22	0,15	0,29	100,0	76,2	0,2	16,3	42,0	92,1	2,42	1,40	0,32
14	34,8	14,5	3,5	2,6	42,7	0,77	0,41	0,20	0,20	0,29	100,0	76,2	0,1	16,3	45,0	92,0	2,38	1,35	0,33
15	35,1	14,4	3,5	2,7	42,7	0,77	0,25	0,21	0,16	0,29	100,0	76,2	0,1	16,8	51,0	92,5	2,33	1,31	0,32
16	35,1	14,6	3,5	2,5	42,7	0,77	0,24	0,21	0,16	0,29	100,0	76,2	0,1	15,7	50,0	91,6	2,43	1,40	0,32
17	34,9	14,5	3,5	2,6	42,7	0,77	0,25	0,22	0,16	0,29	99,9	76,2	0,1	17,0	45,0	92,0	2,38	1,35	0,33
18	35,2	14,5	3,4	2,5	42,7	0,77	0,23	0,21	0,15	0,29	100,0	76,2	0,1	17,3	41,0	92,1	2,46	1,36	0,31
19	34,9	14,5	3,6	2,5	42,7	0,77	0,23	0,21	0,16	0,29	99,9	76,2	0,2	16,7	47,0	91,9	2,38	1,44	0,32
20	35,1	14,5	3,5	2,5	42,7	0,76	0,25	0,20	0,16	0,28	99,9	76,2	0,4	17,3	46,0	92,1	2,42	1,40	0,31
21	34,8	14,6	3,6	2,5	42,7	0,76	0,28	0,21	0,17	0,29	100,0	76,1	0,2	13,7	47,0	91,3	2,39	1,44	0,32
22	34,9	14,6	3,6	2,6	42,7	0,76	0,19	0,20	0,17	0,27	99,9	76,2	0,1	15,4	49,0	91,4	2,39	1,40	0,31
23	35,1	14,7	3,4	2,5	42,7	0,76	0,19	0,20	0,16	0,26	100,0	76,3	0,1	16,6	47,0	91,2	2,49	1,36	0,31
24	35,1	14,6	3,5	2,5	42,7	0,75	0,19	0,19	0,16	0,27	100,0	76,2	0,3	15,1	42,0	91,5	2,42	1,42	0,30
25	35,0	14,6	3,5	2,6	42,7	0,75	0,16	0,19	0,15	0,27	99,9	76,2	0,1	16,3	47,0	91,4	2,39	1,35	0,29
26	35,2	14,5	3,5	2,5	42,7	0,76	0,17	0,19	0,15	0,27	99,9	76,3	0,1	16,3	45,0	92,3	2,42	1,39	0,29
27	35,1	14,5	3,5	2,5	42,8	0,76	0,20	0,20	0,14	0,27	99,9	76,4	0,1	16,6	42,0	92,6	2,42	1,37	0,29
28	35,1	14,6	3,4	2,4	42,8	0,76	0,19	0,21	0,13	0,29	99,9	76,3	0,1	17,4	45,0	92,4	2,51	1,42	0,30
29	34,9	14,5	3,6	2,7	42,7	0,76	0,18	0,20	0,13	0,29	100,0	76,2	0,1	17,6	46,0	91,5	2,30	1,37	0,29
30	34,8	14,5	3,7	2,7	42,7	0,76	0,21	0,19	0,14	0,30	100,0	76,1	0,2	16,4	45,0	91,3	2,26	1,37	0,28
31																			
MEDIA	34,9	14,6	3,6	2,5	42,7	0,76	0,30	0,22	0,17	0,28	100,0	76,1	0,2	15,8	42,4	91,4	2,39	1,40	0,33
STD	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,01	0,16	0,02	0,04	0,02	0,1	0,3	0,2	2,4	8,1	1,5	0,06	0,05	0,04
MIN	33,8	14,4	3,4	2,4	42,1	0,74	0,16	0,19	0,13	0,25	99,9	75,2	0,1	9,2	21,0	86,6	2,23	1,31	0,28
MAX	35,2	15,3	3,8	2,7	42,8	0,78	0,79	0,26	0,32	0,39	100,0	76,4	1,2	19,7	51,0	92,7	2,51	1,57	0,47

ANEXO XXVI

REPORTE MENSUAL PUZOLANA MOLINO

CEMENTOS CHIMBORAZO												dic-12			
CONTROL DE CALIDAD												DISTRIBUCION: GT-JCC			
COMPOSICION: QUIMICA														MODULOS	
DIA	P F	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	TiO2	TOTAL	S. Alc.	Humedad	MS	MA
1	2.5	66.3	14.8	2.7	5.8	0.99		3.54	3.11	0.33	100.0	5.6	12.0	3.81	5.55
2	2.5	66.3	14.8	2.7	5.8	0.99		3.54	3.11	0.33	100.0	5.6	11.4	3.81	5.55
3	2.5	66.3	14.8	2.7	5.8	0.99		3.54	3.11	0.33	100.0	5.6	11.8	3.81	5.55
4	2.5	66.3	14.8	2.7	5.8	0.99		3.54	3.11	0.33	100.0	5.6	11.8	3.81	5.55
5	2.5	66.3	14.8	2.7	5.8	0.99		3.54	3.11	0.33	100.0	5.6	11.8	3.81	5.55
6	2.5	66.3	14.8	2.7	5.8	0.99		3.54	3.11	0.33	100.0	5.6	11.0	3.81	5.55
7	2.5	66.3	14.8	2.7	5.8	0.99		3.54	3.11	0.33	100.0	5.6	11.4	3.81	5.55
8	2.5	66.3	14.8	2.7	5.8	0.99		3.54	3.11	0.33	100.0	5.6	12.0	3.81	5.55
9	2.3	68.3	14.9	2.6	3.1	1.04		3.85	3.56	0.35	100.0	6.2	11.4	3.91	5.82
10	2.3	68.3	14.9	2.6	3.1	1.04		3.85	3.56	0.35	100.0	6.2	12.2	3.91	5.82
11	2.3	68.3	14.9	2.6	3.1	1.04		3.85	3.56	0.35	100.0	6.2	11.4	3.91	5.82
12	2.3	68.3	14.9	2.6	3.1	1.04		3.85	3.56	0.35	100.0	6.2	11.8	3.91	5.82
13	2.3	68.3	14.9	2.6	3.1	1.04		3.85	3.56	0.35	100.0	6.2	13.8	3.91	5.82
14	2.3	68.3	14.9	2.6	3.1	1.04		3.85	3.56	0.35	100.0	6.2	11.0	3.91	5.82
15	2.3	68.3	14.9	2.6	3.1	1.04		3.85	3.56	0.35	100.0	6.2	10.8	3.91	5.82
16	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	10.6	3.93	5.55
17	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	8.4	3.93	5.55
18	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	19.4	3.93	5.55
19	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	10.4	3.93	5.55
20	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	13.8	3.93	5.55
21	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	10.4	3.93	5.55
22	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	10.4	3.93	5.55
23	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	10.4	3.93	5.55
24	2.5	67.8	14.6	2.6	4.2	0.99		3.69	3.30	0.33	100.0	5.9	11.2	3.93	5.55
25	2.8	67.7	14.6	2.3	4.8	0.91		3.29	3.22	0.27	99.9	5.4	10.4	4.02	6.46
26	2.8	67.7	14.6	2.3	4.8	0.91		3.29	3.22	0.27	99.9	5.4	10.6	4.02	6.46
27	2.8	67.7	14.6	2.3	4.8	0.91		3.29	3.22	0.27	99.9	5.4	10.4	4.02	6.46
28	2.8	67.7	14.6	2.3	4.8	0.91		3.29	3.22	0.27	99.9	5.4	10.4	4.02	6.46
29	2.8	67.7	14.6	2.3	4.8	0.91		3.29	3.22	0.27	99.9	5.4	10.2	4.02	6.46
30	3.2	67.6	14.8	2.6	3.9	1.10		3.37	3.05	0.32	99.9	5.4	10.0	3.88	5.60
31	3.2	67.6	14.8	2.6	3.9	1.10		3.37	3.05	0.32	99.9	5.4	9.2	3.88	5.60
MEDIA	2.6	67.5	14.7	2.6	4.4	1.00		3.60	3.28	0.32	100.0	5.8	11.3	3.91	5.76
STD	0.2	0.7	0.1	0.1	1.0	0.05		0.19	0.17	0.03	0.1	0.3	1.8	0.07	0.33
MIN	2.3	66.3	14.6	2.3	3.1	0.91		3.29	3.05	0.27	99.9	5.4	8.4	3.81	5.55
MAX	3.2	68.3	14.9	2.7	5.8	1.10		3.85	3.56	0.35	100.0	6.2	19.4	4.02	6.46

ANEXO XXVIII

REPORTE MENSUAL YESO MOLINO

CEMENTOS CHIMBORAZO.												dic-12			
REPORTE MENSUAL: YESO MOLINO												DISTRIBUCION: GT-JCC			
CONTROL DE CALIDAD															
COMPOSICION: QUIMICA														MODULOS	
DIA	PF	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	SO3	Na2O	K2O	TiO2	TOTAL		Humedad	MS	MA
1	17.8	4.0	2.0	2.4	31.1	0.15	41.3	0.83	0.23		99.9		10.4	0.90	0.84
2	17.8	4.0	2.0	2.4	31.1	0.15	41.3	0.83	0.23		99.9		11.8	0.90	0.84
3	17.2	6.1	1.0	1.6	31.6	0.12	41.6	0.53	0.27		100.0		12.4	2.32	0.60
4	17.2	5.4	0.8	1.4	32.2	0.11	42.2	0.50	0.22		100.0		10.4	2.45	0.57
5	17.2	4.8	1.1	1.4	31.8	0.13	42.8	0.45	0.21		99.9		10.0	1.92	0.79
6	17.2	4.8	1.1	1.4	31.8	0.13	42.8	0.45	0.21		99.9		10.2	1.92	0.79
7	17.2	4.8	1.1	1.4	31.8	0.13	42.8	0.45	0.21		99.9		10.4	1.92	0.79
8	17.3	4.4	1.1	1.5	31.3	0.19	43.2	0.69	0.22		99.9		12.4	1.69	0.73
9	17.3	4.6	1.1	1.5	31.4	0.19	43.0	0.69	0.22		99.9		11.8	1.78	0.73
10	17.3	5.4	1.1	1.8	31.6	0.18	41.6	0.71	0.22		99.9		8.0	1.86	0.61
11	17.3	5.1	0.7	1.5	31.3	0.21	42.8	0.83	0.23		100.0		7.6	2.24	0.47
12	17.3	4.6	0.6	1.7	31.4	0.22	43.0	0.85	0.26		99.9		9.2	2.04	0.36
13	17.3	4.4	0.6	1.5	32.1	0.23	42.8	0.74	0.21		99.9		13.6	2.09	0.40
14	17.3	5.0	1.0	1.5	32.1	0.28	41.4	1.19	0.23		100.0		12.4	1.99	0.63
15	17.3	5.0	1.0	1.5	32.1	0.28	41.4	1.19	0.23		100.0		10.4	1.99	0.63
16	17.4	4.1	1.0	1.4	32.2	0.31	42.3	0.92	0.25		99.9		12.2	1.70	0.71
17	17.2	4.4	0.9	1.6	31.6	0.28	42.8	1.03	0.21		100.0		10.8	1.80	0.58
18	17.2	4.4	0.9	1.6	31.6	0.28	42.8	1.03	0.21		100.0		9.6	1.80	0.58
19	17.2	4.4	0.9	1.6	31.6	0.28	42.8	1.03	0.21		100.0		11.4	1.80	0.58
20	17.3	5.4	0.8	1.5	31.6	0.30	41.7	1.16	0.22		100.0		13.6	2.36	0.50
21	17.3	5.4	0.8	1.5	31.6	0.30	41.7	1.16	0.22		100.0		8.4	2.36	0.50
22	17.3	4.4	0.7	1.2	32.4	0.27	42.4	1.10	0.24		100.0		8.4	2.32	0.54
23	17.3	4.4	0.7	1.2	32.4	0.27	42.4	1.10	0.24		100.0		11.8	2.32	0.54
24	17.3	4.4	0.7	1.2	32.4	0.27	42.4	1.10	0.24		100.0		10.4	2.32	0.54
25	18.8	5.9	0.8	1.6	30.5	0.25	41.0	0.91	0.24		99.9		10.8	2.44	0.51
26	18.2	5.9	0.9	1.6	30.5	0.25	41.6	0.91	0.24		100.0		11.4	2.38	0.54
27	17.3	5.3	1.0	1.7	31.5	0.20	42.1	0.63	0.23		99.9		11.4	2.02	0.58
28	17.3	5.3	1.0	1.7	31.4	0.20	42.3	0.63	0.23		100.0		12.8	2.02	0.58
29	17.3	6.3	0.9	1.6	30.7	0.30	41.2	1.39	0.27		100.0		11.4	2.57	0.58
30	17.8	3.8	1.2	1.8	31.2	0.28	42.2	1.28	0.45		100.0		11.0	1.26	0.68
31	17.8	3.8	1.2	1.8	31.2	0.28	42.2	1.28	0.45		100.0		15.4	1.26	0.68
MEDIA	17.4	4.8	1.0	1.6	31.6	0.23	42.2	0.89	0.24		100.0		11.0	1.96	0.61
STD	0.3	0.7	0.3	0.3	0.5	0.06	0.6	0.27	0.06		0.0		1.7	0.42	0.12
MIN	17.2	3.8	0.6	1.2	30.5	0.11	41.0	0.45	0.21		99.9		7.6	0.90	0.36
MAX	18.8	6.3	2.0	2.4	32.4	0.31	43.2	1.39	0.45		100.0		15.4	2.57	0.84
Observaciones:															

ANEXO XXIV

NTE INEN 490



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 490:2011
Quinta revisión

CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS.

Primera Edición

BLENDED HYDRAULIC CEMENTS. REQUIREMENTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico compuesto, requisitos.
CO 02.02-403
CDU: 666.944
CIIU: 3692
ICS: 91.100.10

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS.	NTE INEN 490:2011 Quinta revisión 2011-01
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los cementos hidráulicos compuestos.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica a los cementos hidráulicos compuestos, que se emplean en aplicaciones generales y especiales, utilizando cemento portland o clinker de cemento portland, con escoria o puzolana, o ambas; o escoria con cal (ver nota 1).</p> <p>2.2 El texto de esta norma cita notas que proveen material explicativo. Estas notas, excluyendo aquellas en tablas y figuras, no son requisitos de la norma.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 151 y además las siguientes:</p> <p>3.1.1 <i>Cemento compuesto binario.</i> Cemento hidráulico compuesto, que consiste en cemento portland con cemento de escoria o con una puzolana.</p> <p>3.1.2 <i>Cemento compuesto ternario.</i> Cemento hidráulico compuesto, que consiste en cemento portland con una combinación de dos puzolanas diferentes o con cemento de escoria y una puzolana.</p> <p style="text-align: center;">4. CLASIFICACIÓN</p> <p>4.1 Esta norma se aplica para los siguientes tipos de cementos hidráulicos compuestos que generalmente están destinados para los usos indicados.</p> <p>4.1.1 Cemento hidráulico compuesto para uso en hormigón para construcción en general.</p> <p>4.1.1.1 <i>Tipo IS.</i> Cemento portland de escoria de altos hornos.</p> <p>4.1.1.2 <i>Tipo IP.</i> Cemento portland puzolánico.</p> <p>4.1.1.3 <i>Tipo IT.</i> Cemento compuesto ternario.</p> <p>4.2 Informe</p> <p>4.2.1 La práctica a seguir para la nomenclatura de cementos compuestos debe ser agregar el sufijo (X) a la designación de tipo indicado en el numeral 4.1.1, donde (X) es igual al porcentaje utilizado de escoria o puzolana en el producto expresado como un número entero en masa del producto compuesto final, dentro de la variación admisible como se indica en el numeral 10.3.</p> <p>4.2.2 La práctica a seguir para la nomenclatura de cementos compuestos ternarios debe ser agregar los sufijos (AX) y (BY) a la designación del Tipo IT indicado en el numeral 4.1.1.</p> <p><small>NOTA 1. Esta norma prescribe componentes y proporciones, con algunos requisitos de desempeño mientras que la norma de Desempeño NTE INEN 2 380 es una norma para cementos hidráulicos, en la cual solo el criterio de desempeño gobierna los productos y su aceptación.</small></p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <p>DESCRIPTORES: Materiales de construcción, cemento hidráulico compuesto, requisitos.</p>		

Donde:

A es: "S" para cemento de escoria o "P" para puzolana, la que esté presente en mayor cantidad en masa,

X es el porcentaje en masa utilizado del constituyente A,

B es: "S" para cemento de escoria o "P" para puzolana, y

Y es el porcentaje en masa utilizado del constituyente B (ver nota 2).

Ambos valores "X" y "Y" están expresados como un número entero en masa del producto compuesto final, dentro de las variaciones establecidas en el numeral 10.3. Si "X" y "Y" son iguales, expresar primero el contenido de puzolana.

4.2.3 En esta norma se utiliza una nomenclatura simplificada por claridad y sentido práctico, cuando se refiere a los requisitos específicos para cementos compuestos binarios y ternarios que se aplican a un rango de productos o en cementos compuestos ternarios, cuando los requisitos son aplicables solamente a uno de los constituyentes dentro de un rango específico (% en masa) (ver nota 3).

4.3 Propiedades especiales (ver nota 4).

4.3.1 Cuando el comprador requiera cemento con incorporador de aire, debe especificarlo añadiendo el sufijo (A) a cualquiera de los tipos antes indicados. La opción de incorporación de aire, es especificada en combinación con cualquiera de las otras propiedades especiales.

4.3.2 Cuando el comprador requiera cemento con moderada resistencia a sulfatos o moderado calor de hidratación o ambos, debe especificarlo añadiendo el sufijo (MS) o (MH) respectivamente, al tipo designado en el numeral 4.1.1.

4.3.3 Cuando el comprador requiera cemento con alta resistencia a los sulfatos, debe especificarlo añadiendo el sufijo (HS) al tipo designado en el numeral 4.1.1, (ver nota 5).

4.3.4 Cuando el comprador requiera cemento con bajo calor de hidratación, debe especificarlo añadiendo el sufijo (LH) al tipo designado en el numeral 4.1.1.

NOTA 2. A continuación se muestran ejemplos de la nomenclatura, de acuerdo a los numerales 4.2.1 y 4.2.2 (todos los porcentajes en masa):

- 1) Cemento compuesto binario, con 80% de cemento portland y 20% de cemento de escoria = IS(20).
- 2) Cemento compuesto binario, con 85% de cemento portland y 15% de puzolana = IP(15)
- 3) Cemento compuesto ternario, con 70% de cemento portland, 20% de cemento de escoria y 10% de puzolana = IT(S20)(P10)
- 4) Cemento compuesto ternario, con 65% de cemento portland, 25% de una puzolana y 10% de otra puzolana = IT(P25)(P10)
- 5) Cemento compuesto ternario, con 60% de cemento portland, 20% de cemento de escoria y 20% de puzolana = IT(P20)(S20)

NOTA 3. A continuación se muestran ejemplos de la nomenclatura simplificada, de acuerdo al numeral 4.2.3:

- 1) Cuando los requisitos son aplicables al rango de productos que se indican en la tabla 1, donde el contenido máximo de SO_3 de 3% se aplica a: cementos compuestos binarios con contenidos de cemento de escoria <70%, se indica como IS(<70); cementos compuestos ternarios con un contenido de puzolana menor que el contenido de cemento de escoria y el contenido de cemento de escoria es inferior a 70%, se indica como IT(P<S<70).
- 2) Cuando los requisitos son aplicables solamente a uno de los constituyentes, dentro de un rango específico de aquel constituyente (% en masa) que, puede encontrarse en el numeral 7.1.2.2, donde se requiere ensayar solamente cuando el contenido de cemento de escoria es <25%. Debido a que el requisito se basa únicamente en el contenido de cemento de escoria, sin ninguna relación con el contenido de puzolana, se emplea la nomenclatura simplificada y el rango de cementos compuestos ternarios se indican como Tipo IT(S<25).

NOTA 4. Una masa dada de cemento compuesto tiene un volumen absoluto mayor que la misma masa de cemento portland. Esto debe ser tomado en cuenta al comprar cementos y al dosificar mezclas de hormigón.

NOTA 5. Las características especiales atribuibles a la escoria o a la puzolana variarán en base a las cantidades contenidas dentro de los cementos compuestos.

(Continúa)

5. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Información de la orden de compra. Los pedidos de cemento, los cuales se describen en esta norma deben incluir lo siguiente:

5.1.1 Número de la norma.

5.1.2 Tipo o tipos requeridos.

5.1.3 Si se requiere, indicar los porcentajes admisibles máximo o mínimo, o ambos de escoria o puzolana.

5.1.4 Propiedades especiales opcionales requeridas (ver numeral 4.3 y nota 6).

- a) (MS) moderada resistencia a los sulfatos;
- b) (HS) alta resistencia a los sulfatos;
- c) (MH) moderado calor de hidratación;
- d) (LH) bajo calor de hidratación;
- e) (A) incorporador de aire;
- f) Adición acelerante;
- g) Adición retardante;
- h) Adición reductora de agua;
- i) Adición reductora de agua y acelerante, y
- j) Adición reductora de agua y retardante,

5.1.5 Certificación, si se desea (ver numeral 10)

6. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

6.1 Materiales y fabricación

6.1.1 Escoria de altos hornos. La escoria de altos hornos debe ser el producto no metálico, consistente esencialmente de silicatos y aluminosilicatos de calcio y otras bases, como resultante del proceso de fundición de mineral de hierro en altos hornos.

6.1.2 Escoria granulada de altos hornos. La escoria granulada de altos hornos debe ser el material granular vítreo, que se forma cuando la escoria de altos hornos fundida es rápidamente enfriada, por ejemplo, por inmersión en agua.

6.1.3 Cemento de escoria. Ver la definición en la NTE INEN 151.

6.1.4 Cemento portland. Ver la definición en la NTE INEN 151. Para los propósitos de esta norma, el cemento portland que cumple con los requisitos de la NTE INEN 152 o de la NTE INEN 2 380 es adecuado. El cemento portland u otros materiales hidráulicos, o ambos, con alto contenido de cal libre pueden ser utilizados mientras se cumplan los límites del ensayo en autoclave para el cemento compuesto.

6.1.5 Clinker de cemento portland. El clinker de cemento portland debe ser clinker parcialmente fundido compuesto básicamente por silicatos de calcio hidráulicos.

6.1.6 Puzolana. La puzolana debe ser un material silíceo o sílico-aluminoso, el cual por sí mismo posee muy poco o ningún valor cementante pero que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes.

6.1.7 Cal hidratada. La cal hidratada utilizada como parte de un cemento compuesto debe cumplir los requisitos de la norma ASTM C 821, excepto que cuando es molida en conjunto en el proceso de producción no habrá un requisito de finura mínima.

NOTA 6. Es importante verificar la disponibilidad de las varias opciones. Algunas opciones múltiples son mutuamente incompatibles o inalcanzables.

(Continúa)

6.1.8 Adición incorporadora de aire. Cuando se especifica cemento con incorporador de aire, se debe utilizar un aditivo que cumpla los requisitos de la norma ASTM C 226.

6.1.9 Cuando se utilicen adiciones de proceso en la fabricación del cemento debe comprobarse que ellas cumplan los requisitos de la NTE INEN 1 504, en las cantidades usadas o mayores (ver numeral 10.2).

6.1.10 Cuando se utilicen adiciones funcionales por decisión del comprador, debe comprobarse que éstas cumplan los requisitos de la norma ASTM C 688, cuando sean ensayadas con el cemento a ser utilizado en la cantidad a emplearse o mayor (ver numeral 10.2).

6.1.11 Otras adiciones. El cemento comprendido en esta norma no debe contener adiciones excepto las que se han indicado anteriormente; sin embargo, si se añade agua o sulfato de calcio (ver NTE INEN 151) o ambos, deben serlo en cantidades tales que no excedan los límites mostrados en la tabla 1 para sulfato, reportado como SO_3 y para pérdida por calcinación.

6.1.12 Cemento compuesto binario. El cemento compuesto binario debe ser un cemento hidráulico que consista en una mezcla íntima y uniforme (ver nota 7), producido por molienda conjunta de clinker de cemento portland con puzolana o con una escoria granulada de altos hornos o con un cemento de escoria o por la mezcla de cemento portland con una puzolana o con un cemento de escoria o con una combinación de molienda y mezcla. Para los componentes deben aplicarse los requisitos de los numerales 6.1.14 y 6.1.16.

6.1.13 Cemento compuesto ternario. El cemento compuesto ternario debe ser un cemento hidráulico que consista en una mezcla íntima y uniforme (ver nota 7), producido por 1) molienda conjunta de clinker de cemento portland con a) dos puzolanas diferentes, b) escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria y una puzolana; o 2) por mezcla de cemento portland con a) dos puzolanas diferentes, b) cemento de escoria y una puzolana o 3) una combinación de molienda conjunta y mezcla de esos componentes. El cemento ternario Tipo IT(PzS) y Tipo IT(P<S<70) debe tener un contenido máximo de puzolana del 40% en masa del cemento compuesto y el contenido total de puzolana y de escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria debe ser menor a 70% en masa del cemento compuesto.

6.1.14 Cemento portland de escoria de altos hornos. El cemento portland de escoria de altos hornos debe ser un cemento hidráulico en el cual el constituyente de cemento de escoria se encuentra hasta el 95% de la masa del cemento compuesto. Está permitido que el cemento compuesto binario o ternario, con un contenido de cemento de escoria igual o mayor al 70% en masa, contenga cal hidratada.

6.1.15 Cemento portland de escoria de altos hornos con aire incorporado. El cemento portland de escoria de altos hornos con aire incorporado debe ser cemento portland de escoria de altos hornos al cual se ha añadido suficiente adición incorporadora de aire de manera que el producto resultante cumpla con los requisitos de contenido de aire en el mortero.

6.1.16 Cemento portland puzolánico. El cemento portland puzolánico debe ser un cemento hidráulico, en el cual el constituyente puzolánico se encuentra hasta el 40% en masa del cemento compuesto.

6.1.17 Cemento portland puzolánico con incorporador de aire. El cemento portland puzolánico con incorporador de aire debe ser cemento portland puzolánico al cual se le ha añadido suficiente adición incorporadora de aire de modo que el producto resultante cumpla con los requisitos de contenido de aire en el mortero.

NOTA 7. La obtención de una mezcla íntima y uniforme de dos o más tipos de materiales finos es difícil. En consecuencia, el fabricante debe proporcionar el equipo y los controles adecuados. Los compradores deben asegurarse por sí mismos de la idoneidad de la operación de mezclado.

(Continúa)

7. REQUISITOS

7.1 Requisitos específicos

7.1.1 Composición química

7.1.1.1 El cemento del tipo especificado debe estar conforme con los requisitos químicos aplicables, indicados en la tabla 1.

TABLA 1. Requisitos químicos

TIPO DE CEMENTO ^A	Método de ensayo aplicable	IS (< 70), IT(P<S<70)	IS (≥ 70), IT(S≥70)	IP, IT(P≥S)
Oxido de magnesio (MgO), % máximo	INEN 160	--	--	6,0
Sulfato, reportado como (SO ₃), % máximo ^B	INEN 160	3,0	4,0	4,0
Sulfuro, reportado como S ²⁻ , % máximo	INEN 160	2,0	2,0	--
Residuo Insoluble, % máximo	INEN 160	1,0	1,0	--
Pérdida por calcinación, % máximo	INEN 160	3,0	4,0	5,0

^A Los requisitos químicos en esta tabla son aplicables a todos los cementos con Incorporador de aire, equivalentes.

^B Cuando se haya demostrado con el ensayo de la NTE INEN 1 505 que el SO₃ óptimo excede a un valor 0,5% menor del límite de la especificación, es permisible una cantidad adicional de SO₃ a condición de que, cuando el cemento con el sulfato de calcio adicional sea ensayado por el método de ensayo de la NTE INEN 2 501, el sulfato de calcio en el mortero hidratado a las 24 horas ± 15 minutos, expresado como SO₃, no exceda de 0,50 g/l. Cuando el fabricante suministre cemento bajo esta disposición, él, bajo pedido; debe proporcionar datos de soporte al comprador.

7.1.1.2 Si el comprador ha pedido al fabricante establecer por escrito la composición del cemento compuesto adquirido, la composición del cemento suministrado debe cumplir con lo indicado en el documento dentro de las siguientes tolerancias (ver nota 8).

Tolerancia, ± %

Dióxido de silicio (SiO ₂)	3
Oxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	2
Oxido de calcio (CaO)	3

7.1.2 Propiedades físicas

7.1.2.1 *Cemento compuesto.* El cemento compuesto del tipo especificado debe cumplir con los requisitos físicos aplicables prescritos en la tabla 2.

NOTA 8. Esto significa que si el informe del fabricante sobre la composición dice "SiO₂:32%" el cemento, cuando sea analizado, debe contener entre 29% y 35% de SiO₂.

(Continúa)

TABLA 2. Requisitos físicos

TIPO DE CEMENTO ^A	NORMA APLICABLE	IS (<70), IT(P<S<70), IP, IT(P≥S)	IS (<70) (MS), IT(P<S<70) (MS), IP(MS), IT(P≥S) (MS)	IS (<70) (HS), IT(P<S<70) (MS), IP(HS), IT(P≥S) (HS)	IS (≥70), IT(S≥70)	IP (LH) ^B , IT(P≥S) (LH) ^B
Finura	NTE INEN 198, NTE INEN 957	C	C	C	C	C
Expansión en autoclave, % máximo	NTE INEN 200	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Contracción en autoclave, % máximo ^D	NTE INEN 200	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat: ^E	NTE INEN 158					
Fraguado, minutos, no menor a		45	45	45	45	45
Fraguado, horas, no mayor a		7	7	7	7	7
Contenido de aire en el mortero, volumen % máximo ^A	NTE INEN 195	12	12	12	12	12
Resistencia a la compresión, mínimo ^A , MPa	NTE INEN 488					
3 días		13,0	11,0	11,0	--	--
7 días		20,0	18,0	18,0	5,0	11,0
28 días		25,0	25,0	25,0	11,0	21,0
Calor de hidratación máximo: ^F	NTE INEN 199					
7 días, kJ/kg		290	290	290	--	250
(cal/g)		(70)	(70)	(70)	--	(60)
28 días, kJ/kg		330	330	330	--	290
(cal/g)		(80)	(80)	(80)	--	(70)
Requerimiento de agua, % máximo, en peso del cemento,	NTE INEN 488	--	--	--	--	64
Contracción por secado, % máximo.	NTE INEN 2 504	--	--	--	--	0,15
Expansión en mortero, % máximo: ^G	NTE INEN 867					
14 días		0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
8 semanas		0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
Resistencia a los sulfatos, % máximo: ^H	NTE INEN 2 503					
Expansión a 180 días		(0,10) ^I	0,10	0,05	--	(0,10) ^I
Expansión a 1 año		--	--	0,10	--	--

^A Cementos con Incorporador de aire, deben tener un contenido de aire en el mortero de 19% ± 3% en volumen y la resistencia a compresión mínima no debe ser menor que 80% de la resistencia del tipo de cemento sin incorporación de aire comparable.

^B Aplicable solamente cuando se necesita bajo calor de hidratación o no se requiere altas resistencias a edades tempranas.

^C En todos los Informes del fabricante requeridos, según se indica en el numeral 10.4, se debe informar la cantidad retenida al tamizar en húmedo en el tamiz de 45 µm (No. 325) y la superficie específica medida con el aparato de permeabilidad al aire, m²/kg.

^D Los especímenes a ser sometidos al ensayo de expansión en autoclave se deben mostrar firmes y duros y no deben mostrar signos de distorsión, roturas, fisuras, picaduras o desintegración.

^E El tiempo de fraguado se refiere al tiempo inicial de fraguado en la NTE INEN 158. El tiempo de fraguado de cementos que contengan una adición funcional acelerante o retardante solicitada por el usuario no requiere cumplir con los límites de esta tabla, pero debe ser establecido por el fabricante.

^F Aplicable solo cuando se especifica moderado (MH) o bajo (LH) calor de hidratación, en cuyo caso los requisitos de resistencia deben ser el 80% de los valores indicados en la tabla.

^G El ensayo de expansión en el mortero es un requisito opcional a ser aplicado solo a pedido del comprador y no se requiere a menos que el cemento vaya a ser utilizado con áridos reactivos con los álcalis.

^H En los ensayos para un cemento Tipo (HS); el ensayo a un año ya no es necesario cuando el cemento cumple con el límite a los 180 días. Un cemento (HS) que no cumpla el límite a 180 días no debe ser rechazado a menos que no cumpla con el límite a un año.

^I Criterio opcional de resistencia a los sulfatos, aplicable solamente cuando se especifica.

(Continúa)

7.1.2.2 Puzolana o escoria. La puzolana o la escoria granulada de altos hornos o el cemento de escoria que va a ser mezclado con el cemento deben ser ensayados en el mismo estado de finura que aquel en el cual va a ser mezclado. La puzolana debe cumplir con los requisitos de finura y del índice de actividad de la tabla 3. El cemento de escoria que va a ser utilizado para cementos portland de escoria de altos hornos Tipo IS(<25) o cementos compuestos ternarios Tipo IT(S<25), debe cumplir con el requisito de índice de actividad de la tabla 3. Tal puzolana o escoria granulada de altos hornos o cemento de escoria que va a ser molido conjuntamente con el clinker de cemento portland, antes de ensayarse para determinar el cumplimiento de los requisitos de la tabla 3, deben ser molidos en el laboratorio hasta una finura como la que se cree que estará presente en el cemento acabado. Es responsabilidad del fabricante decidir sobre la finura a la cual los ensayos deben realizarse y a pedido de un comprador, proporcionar la información sobre la cual se ha basado su decisión.

7.1.2.3 La puzolana para utilizarse en la fabricación de cemento portland puzolánico, Tipo IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipo IT(P<15) y IT(P<15)-(A), debe cumplir con los requisitos de la tabla 3 cuando sea ensayada para determinar la expansión del mortero de puzolana como se describe en el numeral 8.1.13. Si el contenido de álcalis del clinker, a utilizarse para los lotes de producción, cambia en más del 0,2% total como equivalente de Na_2O , calculado como $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$, respecto del clinker con el cual se realizaron los ensayos de aceptación, la puzolana debe ser ensayada nuevamente para demostrar el cumplimiento con los requisitos de la tabla 3.

TABLA 3. Requisitos para puzolana para uso en cementos compuestos y para escoria para uso en cementos portland con escoria de altos hornos Tipo IS(<25) y cementos compuestos ternarios Tipo IT(S<25)

PUZOLANA Y ESCORIA, SEGÚN SEA APLICABLE	NORMA APLICABLE	
Finura: Cantidad retenida en el tamiz de 45 μm (No. 325) mediante el tamizado húmedo, % máximo	INEN 957	20,0
Reactividad alcalina de la puzolana: Para uso en cementos de Tipo IP(<15), IT(P<15) y IP(<15) – (A), IT(P<15) – (A); seis ensayos, expansión de la barra de mortero a 91 días, % máximo.	INEN 867	0,05
Índice de actividad con cemento portland, a 28 días, % mínimo	(Ver anexo A1)	75

7.2 Requisitos complementarios

7.2.1 Almacenamiento: El cemento debe ser almacenado de tal manera que permita un fácil acceso para una apropiada inspección e identificación de cada lote, en una edificación adecuada que proteja de la intemperie, de la humedad y minimice el fraguado de almacenamiento.

8. MÉTODOS DE ENSAYO

8.1 Determinar las propiedades aplicables enumeradas en esta norma de acuerdo con los siguientes métodos de ensayo, en caso de que las NTE INEN, listadas no estén actualizadas, debe regirse a las normas ASTM correspondientes.

8.1.1 Análisis químico. NTE INEN 160, con las condiciones especiales anotadas allí aplicables al análisis de cementos compuestos.

8.1.2 Finura por tamizado. NTE INEN 957.

8.1.3 Finura por el aparato de permeabilidad al aire. NTE INEN 196.

8.1.4 Expansión en autoclave. NTE INEN 200, excepto que en el caso de cemento portland de escoria de altos hornos IS(≥ 70) o cementos compuestos ternarios IT(S ≥ 70), los especímenes de ensayo deben permanecer en la cámara de humedad por un período de 48 horas antes de medir su longitud y el cemento puro (pasta de cemento) debe ser mezclado por no menos de 3 minutos, ni más de 3 minutos 30 segundos.

(Continúa)

8.1.5 *Tiempo de fraguado.* NTE INEN 158.

8.1.6 *Contenido de aire del mortero.* NTE INEN 195. Para calcular el contenido de aire, utilizar la gravedad específica verdadera del cemento, si ésta difiere de 3,15 en más de 0,05.

8.1.7 *Resistencia a la compresión.* NTE INEN 488.

8.1.8 *Calor de hidratación.* NTE INEN 199.

8.1.9 *Consistencia normal.* NTE INEN 157, excepto en el caso de cemento portland de escoria de altos hornos IS(≥ 70) o cementos compuestos ternarios IT(S ≥ 70), la pasta debe ser mezclada por no menos de 3 minutos, ni más de 3 minutos 30 segundos.

8.1.10 *Densidad.* NTE INEN 156.

8.1.11 *Requerimiento de agua.* La masa del agua de mezclado añadida en la amasada de seis cubos, en concordancia con la NTE INEN 488, como un porcentaje de los ingredientes cementantes totales.

8.1.12 *Expansión del mortero de cemento compuesto.* NTE INEN 867, utilizando vidrio Pyrex triturado No. 7 740 como árido (ver nota 9) y la granulometría dispuesta en la tabla 4.

TABLA 4. Requisitos de granulometría de áridos para el ensayo de expansión de morteros

TAMAÑO DEL TAMIZ		MASA %
PASA	RETIENE EN	
4,75 - mm (No. 4)	2,36 - mm (No. 8)	10
2,36 - mm (No. 8)	1,18 - mm (No. 16)	25
1,18 - mm (No. 16)	600 - μ m (No. 30)	25
600 - μ m (No. 30)	300 - μ m (No. 50)	25
300 - μ m (No. 50)	150 - μ m (No. 100)	15

8.1.13 *Expansión del mortero de puzolana para uso en cementos portland puzolánicos Tipos IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipos IT(P<15) y IT(P<15)-(A).* Utilizando la puzolana y el clinker o cemento que van a ser utilizados juntos en la producción del cemento compuesto, preparar cementos portland puzolánicos Tipos IP(<15) y IP(<15)-(A) o cementos compuestos ternarios Tipos IT(P<15) y IT(P<15)-(A), conteniendo 2,5%; 5%; 7,5%; 10%; 12,5% y 15% de puzolana en masa. Estas mezclas deben ser ensayadas de acuerdo con el método de ensayo de la NTE INEN 867 utilizando una arena que se juzgue que no es reactiva mediante el ensayo de la barra de mortero de la NTE INEN 867. La expansión de las barras de mortero debe ser medida a los 91 días y las seis mezclas deben cumplir con los requisitos de expansión de la tabla 3.

8.1.14 *Retracción por secado.* NTE INEN 2 504. Preparar tres especímenes utilizando la proporción de materiales secos de 1 parte de cemento por 2,75 partes de arena de Ottawa graduada, según la NTE INEN 488. Utilizar un período de curado de 6 días y un período de almacenamiento al aire de 28 días. Reportar la contracción lineal durante el almacenamiento al aire basado en una medida inicial después de un período de 6 días de curado en agua.

8.1.15 *Índice de actividad con cemento portland.* Ensayo de acuerdo al Anexo A.

8.1.16 *Resistencia a los sulfatos.* NTE INEN 2 503.

8.2 **Requisitos de tiempos para ensayos.** Se deben permitir los siguientes períodos, desde la fecha de muestreo, para la terminación de los ensayos:

NOTA 9. El vidrio Pyrex No. 7 740 está disponible como vidrio de deshecho en terrones en Corning Glass Works, Corning, NY; esta es la única fuente de provisión conocida por el comité ASTM en este momento. Si usted conoce proveedores alternativos, por favor proporcione esta información a las oficinas de ASTM Internacional. Sus comentarios recibirán una cuidadosa consideración en una reunión del comité técnico responsable, a la que usted puede asistir.

(Continúa)

ensayo a 3 días	8 días
ensayo a 7 días	12 días
ensayo a 14 días	19 días
ensayo a 28 días	33 días
ensayo a 8 semanas	61 días

9. INSPECCIÓN

9.1 Inspección

9.1.1 Se deben proporcionar al comprador instalaciones para realizar una inspección y muestreo cuidadosos del cemento terminado. La inspección y el muestreo del cemento deben realizarse en la fábrica o en el sitio de distribución controlado por el fabricante o en cualquier otra ubicación como sea acordado entre el comprador y el vendedor.

9.1.2 El fabricante debe proveer instalaciones adecuadas para permitir al inspector controlar las masas relativas de los constituyentes utilizados y las operaciones de molienda conjunta o de mezclado en la fábrica, para producir el cemento. Las instalaciones en planta, para molienda conjunta o mezclado y la inspección, deben ser adecuadas para asegurar el cumplimiento con las disposiciones de esta norma.

9.2 Muestreo. Tomar las muestras de los materiales en concordancia con los siguientes métodos:

9.2.1 *Muestreo de cementos compuestos.* NTE INEN 153.

9.2.1.1 Cuando el comprador desee que el cemento sea muestreado y ensayado para verificar el cumplimiento con esta norma, realizar el muestreo y los ensayos de acuerdo a la NTE INEN 153.

9.2.1.2 La NTE INEN 153 no está diseñada para control de calidad en la fabricación y no se requiere para la certificación del fabricante.

9.2.2 *Muestreo de puzolana.* Se debe tomar una muestra de 2 kg, aproximadamente cada 360 Mg (toneladas métricas) de puzolana, según la NTE INEN 1 501.

9.3 Aceptación o rechazo

9.3.1 Como opción del comprador, el cemento puede ser rechazado si no cumple alguno de los requisitos de esta norma aplicables al cemento. Para un requisito opcional, el rechazo debe aplicarse, solo si esta opción ha sido solicitada para el cemento a ser ensayado.

9.3.2 Cuando el comprador lo requiera, el cemento en almacenamiento a granel durante un período mayor de 6 meses debe ser muestreado nuevamente y reensayado y, como opción del comprador, puede ser rechazado si no cumple alguno de los requisitos aplicables de esta norma. El cemento así rechazado debe ser responsabilidad del propietario del producto al momento del muestreo para reensayo.

9.3.3 Cuando el comprador lo requiera, los sacos que tengan más de 2% por debajo de la masa marcada en los mismos pueden ser rechazados; o si la masa media de los sacos en cualquier cargamento, como se demuestra por la determinación de la masa de 50 sacos tomados al azar, es menor que la marcada en los sacos, el cargamento completo, a opción del comprador, puede ser rechazado.

10. CERTIFICACIÓN

10.1 A pedido del comprador, el fabricante debe establecer por escrito el origen, cantidad, y composición de los componentes esenciales utilizados en la fabricación del cemento terminado y la composición del cemento compuesto comprado.

(Continúa)

10.2 A pedido del comprador, el fabricante debe establecer por escrito la naturaleza, cantidad e identidad de cualquier adición de proceso, funcional o incorporadora de aire utilizada; y también, si es requerido, debe suministrar datos de ensayos que demuestren el cumplimiento de tal adición de proceso, con los requisitos de la NTE INEN 1 504, de cualquier adición funcional con los requisitos de la norma ASTM C 688 y de cualquier adición incorporadora de aire con los requisitos de la norma ASTM C 226.

10.3 A pedido del comprador, el fabricante también debe declarar por escrito que la cantidad de puzolana o escoria en el cemento terminado no variará en más de $\pm 5,0\%$ en masa del cemento terminado de lote a lote o dentro de un mismo lote.

10.4 A pedido del comprador en el contrato u orden de compra, el fabricante debe suministrar un certificado que indique que el material fue ensayado durante la producción o transferencia, de acuerdo con esta norma y que cumple con ella. Al momento del despacho debe presentar un informe con los resultados de los ensayos que incluya la cantidad retenida sobre el tamiz de 45 μm (No. 325) y la superficie específica por el método de permeabilidad al aire.

11. ENVASADO Y ETIQUETADO

11.1 Cuando se entrega cemento en sacos, se debe cumplir todas las condiciones establecidas en la NTE INEN 1 902, entre ellas, marcar con claridad en cada saco el nombre del producto, "Cemento Portland de Escoria de Altos Hornos", "Cemento Portland Puzolánico" o "Cemento Compuesto Ternario", según sea el caso, el tipo de cemento, el nombre y la marca del fabricante y el contenido neto del cemento en masa. Cuando el cemento contenga una adición funcional listada en el numeral 5.1.4, literales e al j, el tipo de adición funcional debe ser claramente marcado en cada saco. Información similar debe proporcionarse en los documentos de despacho que acompañen los envíos de cemento envasado o al granel. Todos los sacos deben estar en buena condición al momento de la inspección.

(Continúa)

ANEXO A
(Información obligatoria)

ÍNDICE DE ACTIVIDAD CON CEMENTO PORTLAND

A.1 Preparación de los especímenes. Moldear, curar y ensayar los especímenes de una mezcla de control y de una mezcla de ensayo de acuerdo con la NTE INEN 488. El cemento portland empleado en la mezcla de control debe cumplir los requisitos de la NTE INEN 152 y debe ser del tipo y, si hay disponible, de la marca de cemento a ser empleado en la obra. Fabricar amasadas para tres cubos como sigue: (Para amasadas para seis o nueve cubos, duplicar o triplicar, respectivamente, las cantidades de los ingredientes secos).

A.1.1 Mezcla de control:

250 g de cemento portland
687,5 g de arena de Ottawa graduada
X cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.1.2 Mezcla de ensayo de puzolana:

162,5 g de cemento portland

$$\text{puzolana} = 87,5 \times \frac{\text{gravedad específica de la muestra}}{\text{gravedad específica del cemento portland}} \text{ (gramos)}$$

687,5 g de arena de Ottawa graduada
Y cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.1.3 Mezcla de ensayo de escoria:

75 g de cemento portland

$$\text{escoria} = 175 \times \frac{\text{gravedad específica de la escoria}}{\text{gravedad específica del cemento portland}} \text{ (gramos)}$$

687,5 g de arena de Ottawa graduada
Z cm³ de agua requerida para obtener un flujo de 100 a 115

A.2 Almacenamiento de los especímenes. Después de moldearlos, colocar los especímenes en los moldes (sobre sus placas de base) en la cámara de curado, a 23,0 °C ± 2,0 °C durante 20 a 24 horas. Mientras se encuentren en la cámara de curado, proteger la superficie de los especímenes de goteo de agua. Retirar los moldes de la cámara de curado y extraer los cubos de los moldes. Colocar los cubos en recipientes de metal o vidrio de ajuste perfecto (ver nota A.1), sellar los recipientes herméticamente y almacenarlos a 38,0 °C ± 2,0 °C durante 27 días. Dejar enfriar las muestras hasta 23,0 °C ± 2,0 °C antes de ensayarlas.

A.3 Ensayos de resistencia a la compresión. Determinar la resistencia a la compresión de los tres especímenes de la mezcla de control y de la mezcla de ensayo a una edad de 28 días en concordancia con el método de ensayo de la NTE INEN 488.

NOTA A.1. Utilizar cualquier recipiente metálico que tenga capacidad para tres cubos si puede ser sellado herméticamente. Se han encontrado satisfactorios recipientes de lámina metálica con estanco liviano, con dimensiones interiores de 52 mm por 52 mm por 160 mm. Se han encontrado satisfactorias botellas Mason de boca ancha de 1 litro de capacidad a condición de que se tomen precauciones para prevenir su rotura. (Advertencia: Las mezclas de cemento hidráulico frescas son cáusticas y pueden causar quemaduras químicas a la piel y tejidos en exposiciones prolongadas).

(Continúa)

A.4 Cálculos. Calcular el índice de actividad con cemento portland como sigue:

$$\text{Índice de actividad con cemento portland} = (A/B) \times 100 \quad (\text{A.1})$$

donde:

A = resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de ensayo, MPa y

B = resistencia a la compresión promedio de los cubos de la mezcla de control, MPa

A.5 Precisión y desviación

A.5.1 Precisión. La precisión para un solo operador, sobre cementos compuestos, utilizando ceniza volante, es esencialmente la misma que sobre mezclas: ceniza volante/cementos compuestos del reporte de investigación C 09 – 1 001 (ver nota A.2) y se encontró que tiene un coeficiente de variación de 3,8% (1s%). Esto significa que los resultados de dos ensayos apropiadamente realizados por el mismo operador no deben diferir en más del 10,7% (d2s) del promedio de los dos resultados. Debido a que el ensayo se realiza solamente con propósitos de certificación del fabricante ninguna precisión multilaboratorio sobre la calidad de la materia prima, es aplicable.

A.5.2 Desviación. Ya que no hay material normalizado de referencia, la desviación no puede ser determinada.

NOTA A.2. Los datos de respaldo constan en el Informe de Investigación RR: C09-1001 que está archivado en la sede de ASTM International y puede ser solicitado.

(Continúa)

APÉNDICE Y

RESUMEN DE CAMBIOS

Y.1 En este apéndice se recogen los cambios efectuados en esta actualización de NTE INEN, con respecto de la cuarta revisión de esta norma.

Y.1.1 Se incluyeron los numerales 3.1.1, 3.1.2, 4.1.1.3, 4.2.2, 4.2.3, 6.1.3, 6.1.12, 6.1.13 y se renumeraron los subsiguientes numerales.

Y.1.2 Se incluyeron las notas 2 y 3 y se renumeraron las subsiguientes notas.

Y.1.3 Se eliminaron las antiguas notas 5 y 10.

Y.1.4 Se incluyeron las notas 7 y A.2.

Y.1.5 Se cambió la ubicación de la sección "Métodos de ensayo", para que esté antes de la sección "Inspección"

Y.1.6 Se actualizaron los numerales 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

Y.1.7 Se actualizaron los literales A.1, A.2 y A.5

Y.1.8 Se actualizaron las notas 1, 4, 5, 8 y 9.

Y.1.9 Se actualizaron las tablas 1, 2 y 3.

(Continúa)

APÉNDICE Z

Z.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS A CONSULTAR

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 151	<i>Cemento hidráulico. Definición de términos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 152	<i>Cemento portland. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 153	<i>Cemento hidráulico. Muestreo y ensayos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 156	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 157	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 158	<i>Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 160	<i>Cemento hidráulico. Métodos de ensayo para el análisis químico</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 195	<i>Cemento hidráulico. Determinación del contenido de aire en morteros.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 196	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el aparato de permeabilidad al aire.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 199	<i>Cemento hidráulico. Determinación del calor de hidratación.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 200	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la expansión en autoclave.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 488	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 867	<i>Áridos para hormigón. Determinación de la reactividad alcalina potencial de combinaciones árido-cemento (Método de la barra de mortero).</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 957	<i>Cemento hidráulico. Determinación de la finura mediante el tamiz de 45 µm (No. 325).</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 501	<i>Hormigón de cemento portland. Ceniza volante o puzolana natural para su uso en el hormigón de cemento portland. Muestreo y ensayos</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 504	<i>Cementos hidráulicos. Aditivos de proceso. Requisitos.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 505	<i>Cemento hidráulico. Determinación del SO₃ óptimo aproximado, usando la resistencia a la compresión.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 902	<i>Cementos. Rotulado de fundas.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 380	<i>Cementos hidráulicos. Requisitos de desempeño.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 501	<i>Cemento hidráulico. Determinación del sulfato que se puede extraer con agua del mortero de cemento hidráulico hidratado.</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 503	<i>Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud en morteros expuestos a una solución de sulfato</i>
Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 504	<i>Cemento hidráulico. Determinación del cambio de longitud del mortero y del hormigón endurecidos.</i>
Norma ASTM C 226	<i>Especificaciones para adiciones incorporadoras de aire para uso en la fabricación de cemento hidráulico con incorporación de aire.</i>
Norma ASTM C 688	<i>Especificaciones para las adiciones funcionales para uso en el cemento hidráulico.</i>
Norma ASTM C 821	<i>Especificación para cal para uso con puzolanas.</i>

Z.2 BASE DE ESTUDIO

ASTM C 595 – 10. *Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.* American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 2010.